



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

Estrategia para la Gestión Ambientalmente Racional de Bifenilos Policlorados (PCB) en el Perú, consideraciones ambientales y tecnológicas.

Tesis para optar el grado de Magíster en Desarrollo Ambiental

Presentada por:

Mario Cesar Mendoza Zegarra
19720660

Profesora asesora: Dra. Ana Sabogal Dunin Borkowski

Presidenta del jurado: Marta Tostes Vieira

Tercer miembro: Bertha Ruth Zelada Mariluz

Lima, Perú 2013

1 Resumen

Los PCB son elementos contaminantes orgánicos persistentes que no encuentran en la naturaleza de manera natural, éstos han sido desarrollados producidos por el hombre desde los años 30 del siglo pasado hasta 1983 prohibió su producción por ser altamente dañinos para la salud humana y ambiente.

El año de 2002 la Convención de Estocolmo identificó a los PCB como uno elementos contaminantes que requieren atención especial de los países y se comprometieron a su eliminación en un plazo que termina el 2025 para sacar del servicio a equipos con este componente y hasta el 2028 para su eliminación total de los residuos contaminados con PCB.

En el Perú este convenio fue ratificado en agosto del 2005, elaborándose el Plan de Implementación Nacional del Convenio de Estocolmo, que Plan de Acción de PCB. De esta fecha a la actualidad no se ha cumplido con planes y por lo tanto se mantiene un riesgo a la salud de la población, ambiente y no se cumple con los compromisos de dicha Convención.

Este trabajo por lo tanto parte de la hipótesis: “El país no está preparado controlar, identificar, tratar y eliminar los PCB”, para demostrar esto se parte de un diagnóstico y análisis de las entidades (de gobierno y privadas), normativas legislativas existentes, capacidades analíticas y tecnológicas y mecanismos comunicación que han comprobado la hipótesis siendo los más importantes aspectos los siguientes:

Aspecto legal

- Ausencia de regulaciones, estándares y normas técnicas para el manejo materiales que contienen PCB
- Vacíos normativos que prohíba la comercialización de equipos, materiales, fluidos o elementos que contengan PCB o uso de equipos nuevos que contengan PCB
- No existe la reglamentación necesaria que permita que los propietarios elementos que contengan PCB son responsables de su gestión, tratamiento o disposición final.
- No existe la obligación establecida y procedimiento para elaborar y un inventario de PCB.
- Existe nulo conocimiento de la cantidad, volumen, concentración y localización geográfica de las existencias con PCB en el país por parte de las Autoridades competentes y por parte de los propietarios de estos elementos.

Aspectos institucionales

- No se ha identificado organizaciones o instituciones específicas que tengan a su cargo la gestión de PCB en el Estado. Por ello no es posible encontrar la base de datos de inventario de PCB.
- No existe un programa que permita la supervisión del uso y gestión de equipos con PCB
- Falta de metodología gubernamental para la supervisión de trabajadores expuestos o con riesgo a ser expuestos a PCB
- El Estado no cuenta con una división o departamento con competencias específicas para la gestión de PCB.
- Falta de capacidad en el departamento de aduanas para garantizar el cumplimiento de Convención de Estocolmo
- Falta de capacidad de las empresas para mantenimiento de equipos que contienen PCB

Aspectos ambientales

- Residuos de PCB son inapropiadamente dispuestos y aceite contaminado con PCB son ilegalmente incinerado al no haber descarte de PCB durante su comercialización
- Potenciales derrames de PCB durante el transporte y almacenamiento de equipos que contienen estos componentes (

Aspectos Tecnológicos

- Falta de base de datos centralizada relacionada a la información de PCB a nivel nacional
- Falta de equipos móviles y de laboratorio para identificación y monitoreo de equipos con PCB
- Falta de capacidad para tratamiento (descontaminación) de materiales con PCB

Aspectos de gestión de equipos

- Falta de inventarios de equipos contaminados con PCB
- Falta de lineamientos para el mantenimiento y disposición final de equipos (conteniendo PCB
- Falta de capacidad instalada en el país para una mejor ejecución el Plan de (Disposición final de equipos con PCB.
- Falta de procedimientos independientes para el mantenimiento de equipos con (PCB y libres de PCB que causa la contaminación cruzada
- Equipos con PCB se encuentran todavía en uso debido a la falta de recursos que (permitan su reemplazo o tratamiento adecuado.

(Aspectos de salud

- Falta de capacidad técnica para manejo ambientalmente racional de la salud de los trabajadores
- Falta de lineamientos y entrenamiento de los trabajadores que operan o están expuestos a equipos contaminados con PCB.

Aspectos cognoscitivos

- Falta de conocimiento de prácticas ambientalmente racionales de transporte y almacenamiento de materiales contaminados con PCB
- Falta de conocimiento en la práctica para la disposición final de materiales contaminados con PCB
- Falta de conocimiento de los requerimientos y métodos que se indican en el Convenio de Estocolmo para el adecuado manejo ambientalmente racional de materiales contaminados con PCB.
- Falta de conciencia por parte de las autoridades competentes de las obligaciones del Convenio de Estocolmo y políticas para su implementación
- Falta de intercambio de información y experiencias entre los propietarios de (PCB
- No existe un ente centralizado de la información de PCB
- Bajo nivel o en general falta de conciencia de los riesgos a la salud de la (contaminación con PCB (

Ante esta situación es deducible que se presente riesgos como:

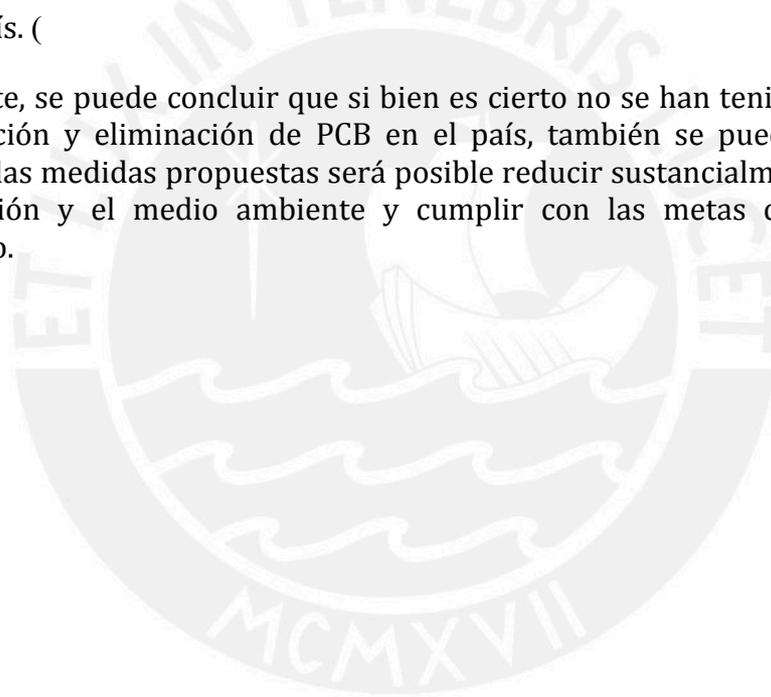
- Liberación involuntaria de PCB al no tener la obligación de identificarlos y aplicar medidas de disposición final adecuados.
- Alto riesgo de contaminación de los trabajadores que están en contacto con equipos y materiales con PCB.
- Alto riesgo a que los fluidos de transformadores con alta concentración de PCB sean diluidos voluntariamente o involuntariamente.
- Alto riesgo de la población a ser contaminados con PCB pruciéndose daño a la salud en el caso de producirse accidentes ambientales como derrames o incendios de equipos.

El presente trabajo en este sentido ha diseñado la estrategia que permitiría cumplir con los objetivos de eliminar los PCB y reducir los riesgos mencionados a través de lo siguiente:

- Contar con un Reglamento de PCB que regule la gestión adecuada de PCB en todos los sectores productivos del país.
- Contar con un inventario de PCB con la posibilidad de extender los alcances a sitios e instalaciones contaminadas que nos permitan elaborar mapas de zonas y lugares posiblemente contaminados o “hot points”.

- Programar y diseñar campañas que recogiendo las experiencias de otros países permitan una adecuada sensibilización de la población y procurar una adecuada capacitación y respuesta para casos de emergencias.
- Diseñar y poner en marcha adecuadas medidas preventivas de protección de la salud pública en relación de toxicidad de PCB.
- Proyectar programas de salud con la finalidad de analizar los impactos que podría tener la salud de las personas en lugares sensibles y posiblemente contaminados con PCB.
- Incrementar la capacidad analítica del país para gestionar los PCB con las consecuencias ventajas de reducir los periodos de tiempo de análisis y costo para las empresas poseedoras de PCB.
- Promover la creación de empresas que realicen el tratamiento de PCB a nivel nacional incrementando las posibilidades de realizar una gestión de dichas sustancias de manera ambientalmente racional dentro del sector productivo del país. (

Finalmente, se puede concluir que si bien es cierto no se han tenido avances en la identificación y eliminación de PCB en el país, también se puede asegurar que tomando las medidas propuestas será posible reducir sustancialmente el riesgo de la población y el medio ambiente y cumplir con las metas del Convenio de Estocolmo.





A la memoria de mi padre a quien debo más que la vida



Profundo agradecimiento a mis amigos Urs Wagner, Marisa Quiñones y Vilma Morales.

2 Índice del contenido

1	Resumen	2
2	Índice del contenido	8
3	Introducción	15
3.1	Hipótesis.....	16
3.2	Objetivos	17
4	Análisis del problema – diagnóstico	18
4.1	¿Qué es el PCB?	18
4.2	Principales efectos en la salud humana y el medio ambiente	19
4.3	Fuentes potenciales de contaminación con PCB	20
4.4	Producción o importación de PCB en el país	22
4.5	Barreras.....	24
4.6	Riesgos	36
4.7	Inventario o existencias de PCB en el país.....	36
5	Estrategias de gestión de PCB	43
5.1	Estructura funcional, legislativa e instrumentos ambientales.....	44
5.2	Identificación e inventario de PCB.....	60
5.3	Transporte y almacenamiento de PCB	73
5.4	Tratamiento y disposición final de PCB	79
6	Bibliografía.....	99
7	Anexos	102
7.1	Anexo N° 1: Marco Legislativo de PCB en el Perú.....	102
7.2	Anexo N° 2: Listas de marcas comerciales con PCB por país	107
7.3	Anexo N° 3: Empresas fabricantes de transformadores que utilizaban PCB.....	108
7.4	Anexo N° 4: Condensadores que pueden contener PCB.....	109
7.5	Anexo N° 5: Descripción del software para el Sistema de Control y Vigilancia de Equipos y Residuos con PCB.....	111
7.6	Anexo N° 6: Métodos analíticos para la determinación de PCB en diferentes matrices	118
7.7	Anexo N°7: Muestreo de aceite dieléctrico.....	122
7.8	Anexo N° 8: Procedimiento para el uso del Kit Clor-N-Oil®	130
7.9	Anexo N° 9: Método de detección del PCB con el L2000DX.....	133
7.10	Anexo N° 10: Tecnologías de eliminación de PCB	153
8	Definiciones	155

Índice de Figuras

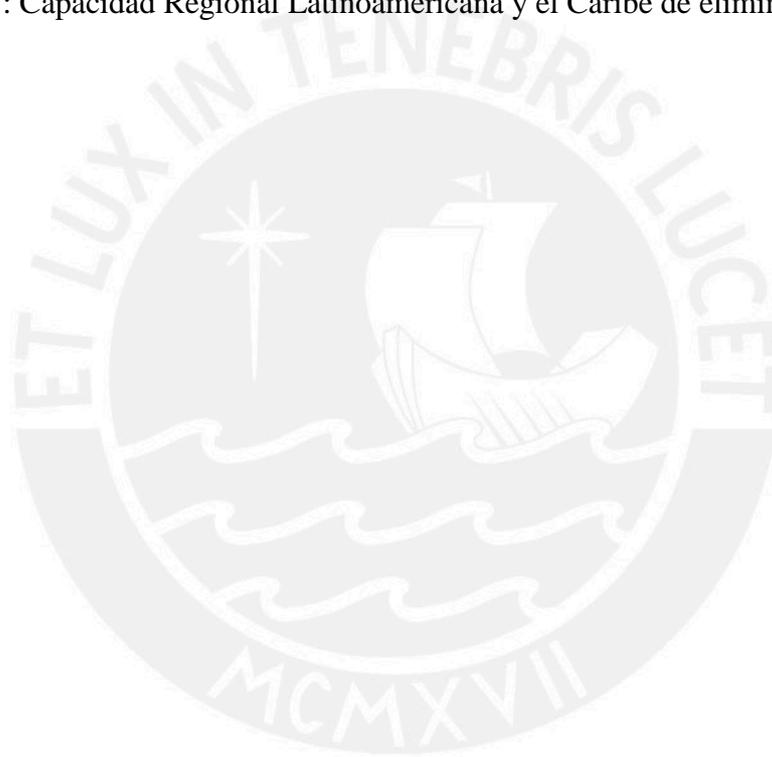
Figura N° 1: Estructura química de los PCB	18
Figura N° 2: Movimiento de PCB hacia el medio ambiente.....	23
Figura N° 3: Distribución de equipos con resultados positivos según año de fabricación	40
Figura N° 4: Gráfico de actores principales y su rol.....	45
Figura N° 5: Principales actividades que se deberá llegar a cabo.....	47
Figura N° 6: Esquema de Diseño del Procedimiento de Control y Vigilancia de PCB en el Sub Sector Eléctrico.....	48
Figura N° 7: Estrategia para el control y eliminación de PCB	55
Figura N° 8: Estructura de un Transformador.....	61
Figura N° 9: Banco de condensadores de alta tensión	62
Figura N° 10: Uso de Clor-N-Soil para suelos.....	66
Figura N° 11: Cromatógrafo de gas y captura electrónica.....	68
Figura N° 12: Jeringa de tres vías	69
Figura N° 13: Laboratorio de CG.....	69
Figura N° 14: Horno de precisión para laboratorio.....	70
Figura N° 15: Obtención de resultados con CG.....	70
Figura N° 16: Señalización de transporte de sustancias tóxicas	74
Figura N° 17: Etiquetado para transporte de sustancias tóxicas	75
Figura N° 18: Contenedor cerrado para almacenamiento de sólidos y capacitores con PCB.....	76
Figura N° 19: Almacenamiento de líquidos conteniendo PCB en tambor cerrado para exportación.....	77
Figura N° 20: Secuencia de Gestión de Manejo de PCB de transformadores	94
Figura N° 21: Metodología para la disposición final de elementos contaminados con PCB.....	98
Figura N° 22: Diagrama de actores del sistema	112
Figura N° 23: Toma de muestras utilizando bateas y EPPs recomendados.....	123
Figura N° 24: Materiales y herramientas para muestreo.....	124
Figura N° 25: Jeringa de 50 ml acoplada a una llave de tres vías y una manguera de 40 cm.....	125
Figura N° 26: Jeringa hasta obtener 20 ml de muestra	125
Figura N° 27: Operación de extracción de muestra	125
Figura N° 28: Purga de la jeringa.....	126
Figura N° 29: Obtención de muestra en recipiente	126
Figura N° 30: Obtención de muestra.....	126
Figura N° 31: Operación de cierre de la jeringa	127
Figura N° 32: Obtención de muestra en frasco ambar	127
Figura N° 33: Cierre del frasco	127
Figura N° 34: Cierre del frasco	128
Figura N° 35: Purga de residuos	128
Figura N° 36: Etiquetado de la muestra	128
Figura N° 37: Tabla de colores para la determinación de PCB	131
Figura N° 38: Primera etapa de análisis.....	137

Figura N° 39: Extracción de solución con iones de cloro para su medición.....	138
Figura N° 40: Proceso para preparación de muestras de aceite	138
Figura N° 41: Analyzer L2000DX de Dexsil®.....	139
Figura N° 42: Proceso de destrucción de PCB con sodio metálico	140
Figura N° 43: Extracción de Iones de cloro	141
Figura N° 44 Proceso para preparación de muestras de suelos.....	143
Figura N° 45: Analyzer L2000DX ®.....	143
Figura N° 46: Procedimiento para preparación de muestras de agua	144
Figura N° 47: Diagrama de bloques del programa.....	146



Índice de Tablas

Tabla N° 1: Exportación de PCB	24
Tabla N° 2: Empresas acreditadas por INDECOPI para análisis de PCB en el Perú	31
Tabla N° 3: Resultado de los análisis de descarte de PCB (Clor N Oil ®).....	37
Tabla N° 4: Transformadores posiblemente contaminados con PCB de acuerdo al año de fabricación	38
Tabla N° 5: Transformadores posiblemente contaminados con PCB de acuerdo a la potencia del equipo	40
Tabla N° 6: Principales riesgos durante la operación de transformadores con PCB	50
Tabla N° 7: Capacidad Regional Latinoamericana y el Caribe de eliminación de PCB	81



Siglas abreviaturas y acrónimos

ACT	Análisis Científico y Técnico
ADR	Acuerdo europeo sobre el transporte vial internacional de productos peligrosos
ASTM	American Society for Testing and Materials (Organización de Normalización de los Estados Unidos)
AT	Alta Tensión
BAT	Mejor Técnica Disponible
BC	Convenio de Basilea
BCRC	Centro Regional del Convenio de Basilea (por sus siglas en inglés)
BEP	Buena Práctica Ambiental
BT	Baja Tensión (230/400 V)
CE	Convenio de Estocolmo
CFP	Consentimiento Fundamentado Previo
CG	Cromatografía de gases; procedimiento para la determinación de sustancias en evaporación
CL	Consultor Local
COP	Contaminantes Orgánicos Persistentes
CP	Conferencia de las Partes
DDT	El Dicloro Difenil Tricloroetano es un compuesto organoclorado principal de los insecticidas. Es incoloro y cristalino. Es muy soluble en las grasas y en disolventes orgánicos, y prácticamente insoluble en agua
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental del Perú
EI	Experto Internacional
EOU	Unidad de Evaluación y Supervisión del UNEP
EPA	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)
EPP	Equipos de protección personal
FMAM	El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) es una entidad financiera internacional con 177 países miembros
GAR	Gestión Ambientalmente Racional
HCB	Hexaclorobenceno. Se produce de forma no intencional como subproducto de la fabricación de percloroetileno (conocido también como tetracloroetileno, PER o PERC), tetracloruro de carbono y, en cierta medida, tricloroetileno.
IATA-PP	Normativa de la IATA sobre el transporte de productos peligrosos / transporte aéreo
IMDG	Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas / transporte marítimo (por sus siglas en inglés)
ISO	International Organization of Standardization (Organización Internacional de Estandarización)
M&E	Monitoreo y Evaluación
MAR	Manejo Ambientalmente Racional
MT	Media Tensión (Normalmente en el rango entre 11 y 66kV)
MVA	Megavolt-Amperio
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
ONG	Organización No Gubernamental
PAN	Plan de Acción Nacional
PBB	Bifenilo polibromado
PC	Partes Contratantes
PCB	Bifenilos policlorados
PCDD	Dibenzo-p-dioxinas o dioxina; subproducto de PCB altamente tóxico
PCDF	Dibenzofuranos o furanos; subproducto de PCB altamente tóxico

PCN	Naftaleno policlorado
PCT	Trifenilos policlorados
PIN	Plan de Implementación Nacional
PMA	Plan de Manejo Ambiental
PyMEs	Pequeñas y Medianas Empresas
RETC	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
RID	Reglamento relativo al transporte internacional por ferrocarril de mercancías peligrosas
SC	Stokolm Convention (Convención de Estocolmo)
SCB	Secretaría del Convenio de Basilea
SHO	Seguridad e Higiene Ocupacional
SINIA	Sistema Nacional de Información Ambiental del Perú
UE	Unión Europea



Unidades de medidas

μg	Microgramo
kV	Kilovoltios
kVa	Kilovolti amperio
kW	Kilovatio
mg/kg	Miligramo por kilogramo (1 mg/kg = 1 ppm)
ηg	Nanogramo
gr	Gramos
mm	Milimetro
μL	Microlitro



3 Introducción

Como resultado de la Convención de Estocolmo (2002) en la cual el Perú forma parte y reconociendo que la exposición a los contaminantes orgánicos persistentes como los PCB que tienen propiedades tóxicas, son resistentes a la degradación, se bioacumulan ocasionan problemas de salud y al medio ambiente, en especial los efectos en las mujeres y, a través de ellas, en las futuras generaciones, se estableció la necesidad de dejar fuera de uso (retiro, tratamiento o disposición final) los elementos que contengan PCB hasta el 2015 y realizar su gestión ambientalmente racional de todas las existencia hasta el año 2028.

El año 2006 se culminó la elaboración del Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo que estuvo a cargo de DIGESA, el mismo que comprende el Plan de Acción de PCB.

En base a lo anteriormente mencionado, en el Perú podría existir 10.510,6 toneladas de PCB totales (Ortiz, 2010) calculados sobre la base del Inventario preliminar del Plan Nacional de Implementación (PIN). Sin embargo, estas cifras preliminares no han sido confirmadas debido a que el país no cuenta con un inventario detallado de PCB que permita cuantificar e identificar las fuentes y concentración de PCB en las matrices más comúnmente esperadas (transformadores de tensión eléctrica, capacitores, sistemas hidráulicos y otras aplicaciones abiertas).

Como se sabe, los PCB al permanecer en el ambiente (persistentes), se transportan en la cadena trófica ingresando al cuerpo humano por el consumo de alimentos y por exposición laboral o accidentes ambientales a través de la piel o de las vías respiratorias. Estos componentes han sido clasificadas por la OMS como parte del Grupo 1 que significa que los PCB son cancerígenos (International Agency for Research on Cancer, 2013). Después de su absorción circulan en la corriente sanguínea y se almacenan (ya que son bioacumulables) en los tejidos grasos y en una variedad de órganos que incluyen los pulmones, hígado, riñones, glándulas adrenales, cerebro, corazón y la piel, manifestándose principalmente en la piel (cáncer de piel y cloroacné) y el hígado pudiendo afectar al sistema nervioso central, reproductivo o endocrino, sistema inmunológico y el tracto gastrointestinal y respiratorio. (International Programme on Chemical Safety, 1993)

Si quisiéramos identificar el principal problema para la salud pública y el medio ambiente se podría decir que nuestro país no cuenta con estructuras para controlar, reducir ni eliminar los PCB. Esta sentencia se basa en la ausencia de aspectos como:

- No se cuenta con manuales, procedimientos técnicos y normativos para la conformación de capacidades analíticas, acreditación de organizaciones para la detección, análisis, tratamiento o disposición final de elementos con PCB.

- Nulo conocimiento de la cantidad, volumen, concentración y localización geográfica de las existencias con PCB (elementos contaminados con PCB, que pueden ser equipos, materiales, residuos o lugares contaminados con PCB) por parte de las autoridades competentes y por parte de los propietarios de estos elementos.
- No hay una identificación de los sitios posiblemente contaminados por PCB y/o el desplazamiento del contaminante dentro del ecosistema.
- Alto riesgo a la salud pública ya que podría estar comercializándose aceite dieléctrico sin el control de PCB produciéndose la incorporación de éste contaminante en la cadena alimenticia (comercialización de aceite usado para ser quemando en calderas o ladrilleras y otros equipos con riesgo adicional de producir dioxinas).
- Se puede estar produciendo dilución de aceites contaminados con alta concentración de manera voluntaria o involuntaria al no tener control ni conocimiento de la existencia de PCB (contaminación cruzada).

Este panorama en el Perú podría poner el riesgo no solamente el cumplimiento de los compromisos del Convención de Estocolmo sino principalmente la salud humana y el medio ambiente por lo que se hace necesario desarrollar una estrategia para la gestión de los PCB que sea aplicable en la realidad nacional.

3.1 Hipótesis

La hipótesis global que se puede plantear para abordar este tema se desprende del análisis del Árbol de Problemas que se ha desarrollado para justificar el Plan de Tesis (utilizado la metodología del Enfoque del Marco Lógico, con la guía de Sarah French of the University of Wolverhampton¹).

La conclusión a la se llegó y que se plantea a modo de hipótesis es: “El país no está preparado para controlar, identificar, tratar y eliminar los PCB”

Durante el desarrollo de la tesis mostraremos el sustento que soporta la hipótesis y plantearemos la estrategia que permita superar esta situación; es decir, un esquema que permita al país controlar, identificar, tratar y eliminar los PCB de las existencias (equipos, materiales, residuos suelos o instalaciones contaminados) que se estén utilizando en la industria, empresas de las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, mineras, industria pesquera y otras en las cuales es probable encontrar este contaminante y de esta manera reducir el riesgo que significa este contaminante para la salud pública y el medio ambiente.

¹ Talleres de trabajo del 19, 20 y 21 de septiembre del 2006 dentro del marco de la elaboración del Plan Nacional de Implementación.

3.2 Objetivos

3.2.1 Objetivo general

El Objetivo General de la tesis es el de “Desarrollar una estrategia para la gestión de Bifenilos Policlorados (PCB) en el Perú, tomando en cuenta consideraciones ambientales y tecnológicas”.

Desde la ratificación de las normas internacionales y los compromisos en la Convención de Estocolmo (2002)² y con el compromiso asumido por nuestro Estado Peruano para cumplir con las medidas de control y eliminación de PCB, en la práctica no se ha logrado avanzar como se hubiera querido, esto nos hace pensar en la necesidad de contar con una estrategia que a medida de las necesidades nacionales nos permita alcanzar las metas comprometidas en los acuerdos de Estocolmo.

3.2.2 Objetivos específicos

Para lograr el objetivo plantado, se ha identificado la necesidad de lograr los siguientes objetivos específicos:

1. Elaborar un diagnóstico de la situación de los PCB en nuestro país.
2. Identificar y desarrollar las acciones que permitan controlar, tratar o eliminar las existencias de PCB como parte de una gestión ambientalmente racional (GAR).
3. Desarrollar Procedimientos analíticos y tecnológicos que permitan la identificación, tratamiento y disposición final de elementos contaminados con PCB acordes con la realidad nacional.

3.2.3 Resultados esperados

Contar con una estrategia a nivel del país que permita:

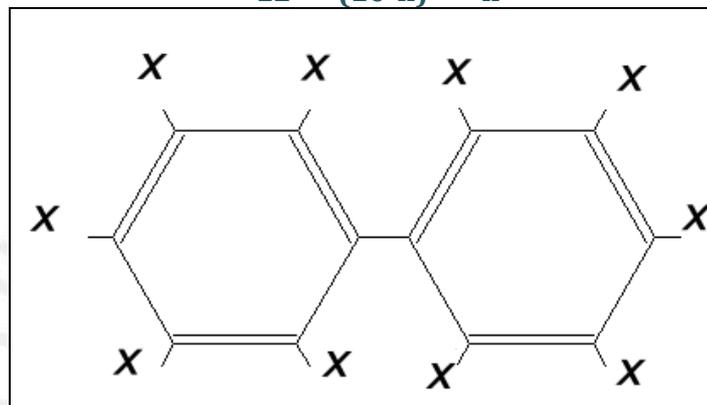
- Contar con la estrategia tecnológica viable para realizar el inventario de PCB en aplicaciones cerradas.
- Identificar la tecnología más viable para el tratamiento y disposición final de elementos contaminados con PCB para lograr la eliminación de los PCB al menos por debajo de los límites máximos permitidos por la normatividad vigentes.

² El Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, en el marco del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), se firmó en mayo de 2001 y entró en vigor el 17 de mayo de 2004 y el Perú firmó su ratificación el día 10 de Agosto de 2005.

4 Análisis del problema – diagnóstico

4.1 ¿Qué es el PCB?

Los Bifenilos Policlorados o PCB son un subconjunto de productos químicos orgánicos sintéticos conocidos como hidrocarburos clorados. La fórmula química para los PCB es:



Las X se reemplazan con átomos de Cl o H

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 1: Estructura química de los PCB

donde n es un número de átomos de cloro dentro del rango de 1-10.

La clase incluye todos los compuestos con una estructura de bifenilo (es decir, dos anillos bencénicos unidos entre sí) que han sido tratadas con cloro en diferentes grados.

En teoría, existen un total de 209 congéneres de PCB posibles dependiendo del número de átomos de cloro que han desplazado a los átomos de hidrógeno, pero sólo unos 130 de estos son probables de ocurrir en productos comerciales (Neumeier, 1998). Los productos comerciales son una mezcla de 50 o más congéneres PCB.

Los Bifenilos Policlorados son un tipo de productos químicos orgánicos sintéticos. Desde 1930 los PCB se han utilizado en diversas aplicaciones industriales (principalmente, como fluidos dieléctricos en condensadores y transformadores; aunque también como piroretardantes, disolventes de tintas, plastificantes, etc.) debido a su estabilidad química. Los PCB son piroresistentes, tienen baja conductividad eléctrica, alta resistencia a la degradación térmica y alta resistencia a los oxidantes y otros productos químicos. Entre 1929 y 1989 se produjo un total aproximado de 1,7 millones de toneladas de aceite con PCB (Paul Whyllie y Andrea Warmuth, 2010).

La producción industrial de PCB en los Estados Unidos de América (EE.UU.) comenzó en el decenio de 1930, y fue también después de la Segunda Guerra Mundial que Europa introdujo en el mercado sus primeros productos con PCB. A finales del decenio de 1960, la producción alcanzó sus valores máximos, con más de 60.000 toneladas al año. (Wagner, 2010)

Como consecuencia de varios incidentes graves relacionados con los PCB, en 1983 se detuvo la producción en la mayoría de los países, excepto en algunos países de Europa Oriental. La Federación Rusa, por ejemplo, recién detuvo su producción entre 1987 y 1993.

En la mayoría de los países nunca se han producido PCB, como es el caso del Perú. Sin embargo, se han importado y utilizado como mezclas técnicas y también en componentes de diferentes productos, incluidos los equipos eléctricos. Por lo general, los países y no es excepción del Perú, se ignora cuál ha sido su importación de PCB. Además, en una época fue frecuente la práctica de enviar equipos que contenían PCB a países en desarrollo como parte de donaciones, sin declarar el contenido de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP), incluso después de la entrada en vigor del Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. Incluso en los EE.UU. y en países de Europa Oriental suele ser imposible proporcionar datos exactos sobre las cantidades existentes de PCB. No se dispone de datos fiables sobre las importaciones totales ni sobre las cantidades de PCB aún en uso. Esa es también la situación de los usos de PCB en equipos electrotécnicos, tuberías de gas, agua y aceite, puentes y tanques de acero, y en una serie de otras aplicaciones vinculadas al acero, como pinturas anticorrosivas, o como sellantes en edificaciones y reactancias de pequeños equipos.

En el decenio de 1970 se descubrió que esta característica de la persistencia, además de las crecientes evidencias de sus propiedades cancerígenas, representaba una seria amenaza para la salud humana y el medio ambiente. Se considera que los PCB son inmunotóxicos y afectan la reproducción. Otros efectos adversos asociados con la exposición a los PCB son daños en el sistema inmunitario, el hígado, la piel, el sistema reproductivo, el tracto gastrointestinal y la glándula tiroides. Como resultado de ello se ha detenido la producción de PCB (Whyllie, 2010).

Se estima que a escala mundial aproximadamente 3,2 millones de toneladas de equipos y líquidos contaminados con PCB están aún en uso, se encuentran almacenados o han sido gestionados de manera ambientalmente racional, pero eventualmente tendrán que ser destruidos (Whyllie, Paul & Warmuth, Andrea, 2010).

4.2 Principales efectos en la salud humana y el medio ambiente

Los PCB, como se mencionó anteriormente, tienen propiedades físicas y químicas muy útiles para aplicaciones en la vida cotidiana, incluyendo la resistencia al fuego, bajo nivel de conductividad eléctrica, alta resistencia al calor, alto grado de

estabilidad química y resistencia a algunos oxidantes y otros productos químicos (Dobson, 1993). Los PCB son poco solubles en el agua, pero fácilmente solubles en las grasas, hidrocarburos y otros componentes (Dobson, 1993). La estabilidad química que presentan los PCB representa para la salud humana y el medio ambiente un potencial riesgo e impacto muy perjudicial.

4.2.1 Impactos en la salud humana

Los estudios sobre la salud humana y los PCB han venido incrementando las posibilidades de que sean cancerígenos, alteren el funcionamiento del sistema inmune, cause severas alteraciones en el sistema nervioso, en la piel, tiroides y el sistema reproductivo. También, se conoce de efectos en el hígado, riñones, páncreas y el sistema cardiovascular, (Whyllie, 2010).

Como resultado de los efectos de la exposición de PCB en los órganos señalados se incrementan el riesgo de cáncer, infecciones, hipotiroidismo, infertilidad, enfermedades cardíacas, hipertensión, diabetes, enfermedades al hígado, asma y artritis. Así mismo se presentan efectos en el desarrollo de los recién nacidos retardando su crecimiento y presentándose déficit del índice de inteligencia de los niños expuestos a PCB en la etapa perinatal, (Carpenter, 2006).

4.3 Fuentes potenciales de contaminación con PCB

Las características de los PCB los han hecho muy utilizados en diversas aplicaciones, muchas de las cuales se encuentran aún en uso, incluyendo:

- Fluidos dieléctricos en equipos eléctricos (e.g. transformadores, condensadores)
- Adhesivos
- Agentes antipolvo
- Lubricantes para cuchillas
- Pirorretardantes
- Líquidos de transferencia de calor
- Aceites lubricantes
- Fluidos hidráulicos
- Aceites de corte
- Selladoras
- Aditivos de pinturas
- Papel de copia sin carbón
- Plaguicidas (para aumentar el volumen del plaguicida)

Los usos o aplicaciones de PCB se han clasificado según su presencia en sistemas cerrados, parcialmente cerrados (semiabiertos) y abiertos³, de acuerdo a su facilidad de escape hacia el medio ambiente.

³ UNEP, IOMC (1999)

Así, los PCB contenidos en sistemas cerrados no pueden escapar fácilmente al medio ambiente. Generalmente los sistemas cerrados y parcialmente cerrados contienen PCB en aceites o fluidos.

Los PCB en sistemas abiertos toman la forma del producto donde han sido utilizados como un ingrediente, por lo tanto pueden encontrarse en formas que varían desde pintura a plástico o goma.

Es útil conocer las fuentes de materiales con PCB, que han sido utilizadas en diversas aplicaciones. Aunque los nombres comerciales de las mezclas de PCB no son específicos a las aplicaciones, la inclusión de una mezcla particular puede ayudar a identificar información útil para el manejo de PCB o materiales que contienen PCB.

Los nombres comerciales de las mezclas de PCB, probablemente sólo serán útiles para propósitos de identificación con aplicaciones cerradas y parcialmente cerradas donde las etiquetas de los equipos y la literatura del fabricante proveen de información sobre ellas, ver los siguientes Anexos:

- Anexo N° 2: Lista de marcas comerciales con PCB por país
- Anexo N° 3: Empresas fabricantes de transformadores que utilizaban PCB
- Anexo N° 4: Condensadores (o capacitores) que pueden contener PCB

En el caso de las aplicaciones abiertas, con ausencia de etiquetas o de indicaciones escritas, generalmente se necesitan análisis químicos para determinar la presencia de PCB.

Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud calificó esos usos de completamente cerrados, nominalmente cerrados y abiertos (IPCS - Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas, 1992) . Desarrollando estas son:

4.3.1 Sistemas cerrados controlables (aplicaciones cerradas)

Los PCB utilizados como aceites dieléctricos en transformadores y grandes condensadores tienen una duración igual a la del equipo; los escapes se evitan mediante la utilización de diseños apropiados. Cuando se desmonta el equipo, la cantidad de aceites dieléctricos es suficientemente elevada como para justificar la regeneración.

4.3.2 Sistemas cerrados incontrolables (Aplicaciones semi-cerradas)

Los PCB se utilizan en sistemas termo-cambiadores e hidráulicos que, si bien son técnicamente cerrados, pueden tener escapes. La necesidad de reposición frecuente de pequeñas cantidades impide la recuperación. Los PCB están ampliamente distribuidos en pequeños condensadores y es muy difícil recoger estas piezas para su debida eliminación.

4.3.3 Aplicaciones que implican dispersión (Aplicaciones abiertas)

Los PCB se han empleado en la formulación de aceites lubricantes, aceites para cuchillas y plaguicidas, plastificantes en pinturas, papeles de copia, adhesivos, selladores y plásticos. En estas aplicaciones, los PCB están en contacto directo con el medio ambiente, sin que haya un modo de recuperarlos cuando se desecha el producto.

En la Figura N° 2 se muestra el movimiento de PCB desde las diferentes fuentes, pasando por las etapas de su ciclo de vida, hasta llegar al medio ambiente.

4.4 Producción o importación de PCB en el país

Desde el punto de vista normativo, la exportación de elementos contaminantes con PCB está regida por lo establecido en el Convenio de Basilea, mientras que para importación no existe ninguna norma legislativa expresa que establezca la prohibición de estos elementos.

4.4.1 Importaciones

Durante la elaboración del Inventario Nacional de PCB elaborado por DIGESA el año 2006 (SENASA, DIGESA y CONAM, 2006) se obtuvo una cantidad referencial de equipos y cantidades de aceite que posiblemente a ingresado al país en base al registro de importaciones de equipos eléctricos y de aceites dieléctricos desde 1966 hasta 1983 año en el cual se dejó de producir PCB a nivel mundial.

El reporte mencionado indica que se ha registrado la importación de 4.092 t de aceite dieléctrico, 7.300 t de equipos de transformación (que si consideramos un 30% de aceite de peso equivale a 2.190 t de aceite dieléctrico) y 582,12 t de equipos condensadores que ha ingresado durante el periodo desde 1966 hasta 1983 (SENASA, DIGESA y CONAM, 2006).

Es importante mencionar que en esta cifra no están registrados los equipos que ingresaron durante la época del gobierno militar donde se ingresó equipos del bloque comunista sin tener registro al respecto; se debe tener en cuenta que en dichos países se fabricaron PCB de manera intensa, por lo que es probable que en nuestro país haya mayor volumen de PCB que los registrados en las aduanas.

La cantidad que se menciona proviene de la búsqueda de las partidas arancelarias de Aceites: 27.10.9.01, Transformadores: 85.01.6.01 a 85.01.6.04 y Condensadores: 85.18.0.01 – 85.18.0.02. (SENASA, DIGESA y CONAM, 2006).

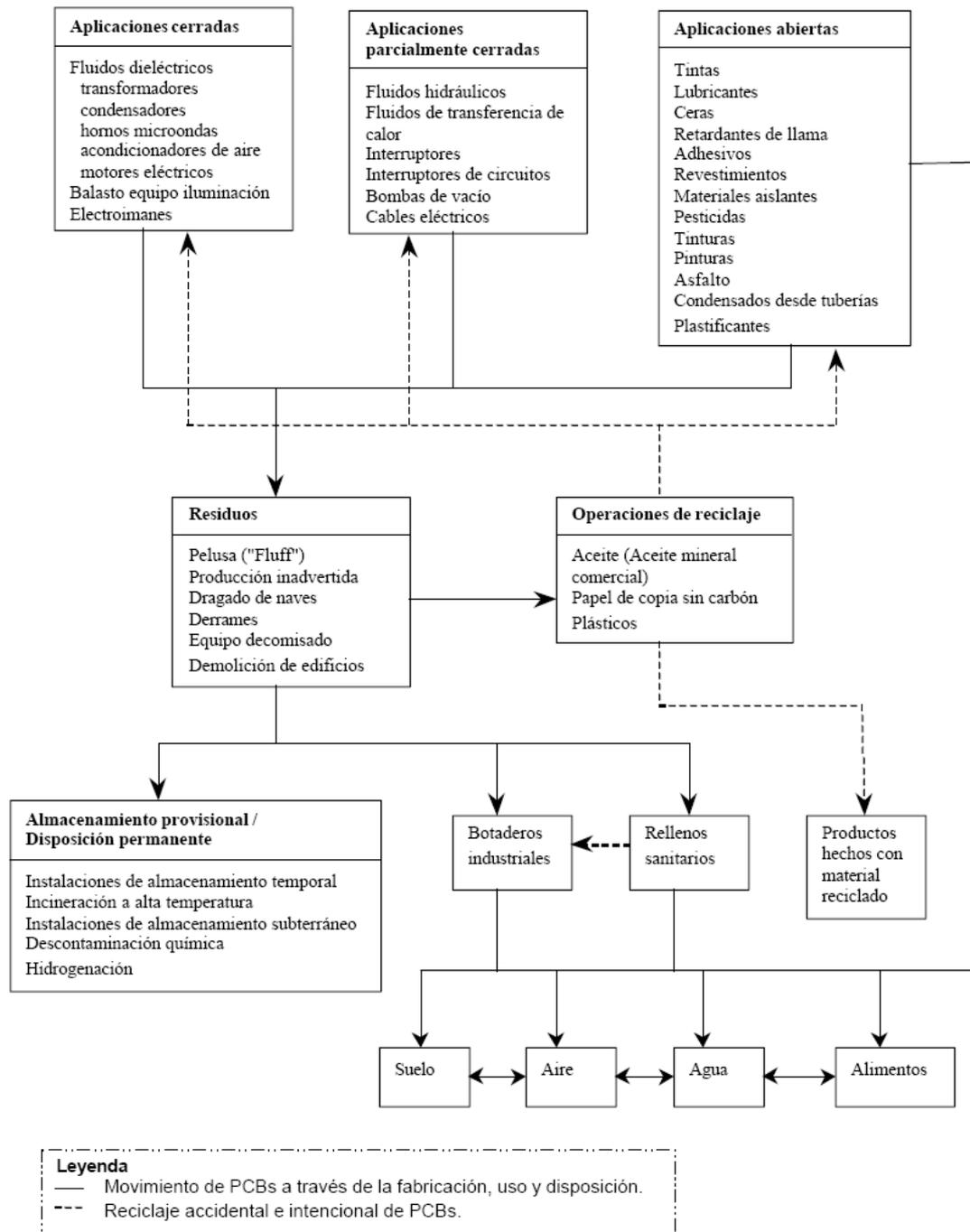


Figura Nº 2: Movimiento de PCB hacia el medio ambiente⁴

4.4.2 Exportaciones

Al igual que las importaciones, las exportaciones de PCB el país no cuenta con un registro consolidado; sin embargo, DIGESA otorga a través de Resoluciones Directorales las autorizaciones de exportación. Haciendo un recuento de estas

⁴ [Ref. UNEP, IOMC, 1999]

Resoluciones Directorales se sabe que hubo exportaciones de PCB que alcanzo a un total de 4013,6 t cuyo detalle se muestra a continuación:

Tabla N° 1: Exportación de PCB

Empresa	Fecha	Peso (t)	Destino	Contenido
Una empresa del sector industrial	20-feb-03	1,561	ND	Aceite dieléctrico
	A 2003	2,748	ND	93 capacitores
	A 2003	3,006	ND	Un transformador
Sector Minero	A 2003	6,2		13 transformadores
Una empresa del sector electricidad	A 2003	30		Equipos, aceite y material (paños, uniformes, equipos de protección personal)
Fuera de Perú	27-oct-11	1 100	Indaver NV y Sita Descontamination (Bélgica)	Transformadores y aceite dieléctrico
Fuera de Perú	17-sep-08	170	Francia	Transformadores y aceite dieléctrico
Fuera de Perú	23-jun-09	700	Tredi - Centro Saint Vulbas - BP 55 01150 - Francia	Transformadores y aceite dieléctrico
Fuera de Perú	14-dic-10	1 150	Indaver NV y Sita Descontamination (Bélgica)	Transformadores y aceite dieléctrico
Asea Brown Boveri S.A.	2003	850	Alemania	Transformadores y aceite dieléctrico
BEFESA	2003	ND	España	
Thiessen del Perú S.A.		0,08 m ³	Chile	

Fuente: Resoluciones emitidas por DIGESA autorizando las exportaciones (390-2012-DEPA, 681-2010-DEPA, 1045-2011-DEPA, 1051-2011-DEPA, 1714-2011-DEPA, 1797-2010-DEPA, 2047-2010-DEPA, 2832-2009, 3724-2008-DG, 2344-2008/DIGESA/SA).

4.5 Barreras

4.5.1 Barreras de aspecto legal

4.5.1.1 Ausencia de regulaciones, estándares y normas técnicas para el manejo de materiales que contienen PCB

Perú ratificó la Convención de Estocolmo, sin embargo todavía está pendiente la implementación de algunas obligaciones de dicha convención, y consecuentemente el, Artículo 3 y Anexo A Parte II de la Convención que debería:

- Prohibir la producción de equipos que contengan PCB o importar elementos que contengan PCB;
- Restringir la exportación irregular de PCB y de equipos que contengan este componente;
- Obligación de reportar por parte de los propietarios de los equipos y elementos que contienen PCB cuando su concentración es mayor a 50 ppm de PCB o más de 0,05 litros;

No se cuenta con legislación que disponga el etiquetado o identificación de elementos que contengan PCB con una concentración mayor de 50 ppm.

No se cuenta con una norma legislativa que disponga a los propietarios de PCB el reporte anual de los avances en la ejecución de los Planes de Gestión de PCB donde se reporte los volúmenes tratados o disposición final de PCB.

Los valores límite permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo⁵ relacionado a PCB no está regulado en el país y por lo tanto no se cuenta con mecanismos específicos para la prevención y control de la exposición en los trabajadores a este contaminante.

No existen guías técnicas; que aseguren el cumplimiento del marco legislativo relacionado a PCB. Estos documentos deberían contener las disposiciones y lineamientos que permitan el adecuado manejo de los elementos contaminados con PCB y que incluyan las siguientes actividades:

- Inventario y etiquetado o identificación de equipos que contienen PCB más allá de la concentración máxima permitida, incluyendo su estandarización y reporte a la autoridad o agentes autorizados por el Estado;
- Mantenimiento y manejo de equipos con PCB de manera racionalmente ambiental que se llamará Gestión Ambientalmente Racional (GAR) de PCB;
- Tratamiento y/o disposición final de equipos con PCB;
- Gestión de residuos con PCB;
- Medidas de seguridad para los trabajadores dirigidas a evitar su exposición a PCB y uso de equipos de protección personal.

4.5.1.2 Vacíos normativos

- No existe norma legislativa que prohíba la comercialización de equipos, materiales, fluidos o elementos que contengan PCB de manera que no fuera debidamente autorizada (como el caso de exportaciones para disposición final).
- No existe la norma o procedimiento específico que prohíba el uso de equipos nuevos que contengan PCB.
- No existe la reglamentación necesaria que permita lo siguiente:
 - Los propietarios de elementos que contengan PCB son responsables de su gestión, hasta su tratamiento o disposición final.
 - Obligación por parte de los propietarios de elementos que contengan PCB a mantener el control de concentración del contaminante y monitoreo de los elementos contaminados reportando a la Autoridad Competente periódicamente.
 - No existe la obligación establecida y procedimiento para elaborar y mantener un inventario de PCB.
 - Obligación por parte de los propietarios de PCB a elaborar y comprometerse a ejecutar un Plan de Gestión de PCB acorde con la reglamentación que se debe elaborar y los compromisos establecidos en la Convención de Estocolmo.

⁵ D.S. 015-2005-SA

- Procedimientos que viabilicen los tratamientos para reducir concentraciones a menos de 50 ppm, que no representen un riesgo.
- No se cuenta con manuales ni procedimientos técnicos y normativos para la conformación de capacidad analítica en el país, acreditación de entidades o empresas que tendrán a su cargo la detección, análisis, tratamiento o disposición final de elementos con PCB.

4.5.1.3 Riesgos derivados de la situación legislativa

Los riesgos que se derivan de la situación legislativa actual son:

- Nulo conocimiento de la cantidad, volumen, concentración y localización geográfica de las existencias con PCB en el país por parte de las Autoridades competentes y por parte de los propietarios de estos elementos.
- No hay una identificación de los sitios posiblemente contaminados por PCB y/o el desplazamiento del contaminante dentro del ecosistema.
- La investigación relacionada como una prioridad de trabajo a nivel institucional o académico es débil por no decir nulo en relación al tema.
- Las empresas que compran equipos nuevos como transformadores no solicitan certificados que indiquen “libre de PCB”, asimismo por desconocimiento no solicita un certificado libre de PCB si el equipo pasa por mantenimiento.
- Alto riesgo a la salud pública ya que se puede estar comercializando aceite dieléctrico sin el control de PCB respectivo. Usualmente el aceite que se comercializa como aceite usado puede ser utilizado inclusive para ser quemando en otras industrias formales o informales (calderas, ladrilleras, etc.) produciéndose contaminantes muy peligrosos como son dioxinas y furanos.
- Se puede estar produciendo dilución de aceites contaminados con alta concentración de manera voluntaria o involuntaria al no tener control ni conocimiento de la existencia de PCB en la industria minera y otras en general.
- No existe una base normativa que obligue la difusión, comunicación y participación de la comunidad en la prevención de riesgos ni respuesta a casos de emergencia con elementos contaminados con PCB.

4.5.2 Barreras institucionales

En términos de hecho, no se ha identificado organizaciones o instituciones específicas que tengan a su cargo la gestión de PCB en el sector de energía y minas, aunque esta responsabilidad debería ser tomada por las Direcciones Generales de Asuntos Ambientales de los Ministerios de Energía y Minas, Producción, y otros en coordinación con MINAM y el OEFA. Por ello, no es posible encontrar la base de datos de inventario de PCB lo que se tiene es información por inventario e identificación de PCB realizado en las empresas voluntariamente.

Pese a lo mencionado a la fecha existe en el país dos proyectos que se están llevando a cabo para ayudar al país en avances de cumplimiento del Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo en relación a los PCB, estos son:

1. Proyecto Regional “Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano”, que esta siendo coordinado por el MINAM
2. Proyecto “Manejo y Disposición Ambientalmente Racional de Bifenilos Policlorados” dirigido al sector eléctrico y coordinado por DIGESA

Por otro lado, se debe mencionar el rol que no se puede implementar hasta ahora en el ámbito de los Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales que a la fecha tienen competencias específicas de control y fiscalización que deberían incluir los PCB. La estrategia que se plantea en este trabajo de investigación y permite una mejor actuación de estas entidades en el objetivo de controlar y eliminar los PCB del medio ambiente.

4.5.2.1 No existe un programa que permita la supervisión del uso y gestión de equipos con PCB

Desde que se ratificó los acuerdos de la Convención de Estocolmo, todavía no se ha adoptado de ningún sistema que permita la verificación y supervisión de las actividades relacionadas a los inventarios y reporte de PCB en el país.

4.5.2.2 Falta de metodología gubernamental para la supervisión de trabajadores expuestos o con riesgo a ser expuestos a PCB

Teniendo en cuenta que el Estado no ha reconocido todavía el riesgo de los PCB, en consecuencia tampoco ha establecido la necesidad de contar con el sistema de supervisión y las herramientas necesarias que asegure o elimine el riesgo a la exposición de los trabajadores a este elemento.

4.5.2.3 El Estado no cuenta con una división o departamento con competencias específicas para la gestión de PCB.

Durante el proyecto que elaboro el Plan Nacional de Implementación (PNI) (PNI-Perú Convenio de Estocolmo, 2006) se tuvo establecida la Oficina de COP que operaba en DIGESA. A su finalización de este proyecto, se suponía que la dicha Oficina de COP formalmente debería permanecer para continuar con las siguientes actividades, sin embargo, debido a la demora en la aprobación del PNI, no se ha legalizado esta Oficina COP, ni sus funciones debidamente delimitadas.

El MINAM, a través de la Dirección General de Calidad Ambiental tiene la función de evaluar los riesgos ambientales asociados a los agentes químicos y establecer las medidas de prevención y control así como diseñar y supervisar la aplicación de los instrumentos de prevención, control y de rehabilitación ambiental relacionados con los residuos peligrosos. También proponer los Límites Máximos Permisibles (LMP), formular y proponer los criterios para la elaboración de planes de prevención, descontaminación y de tratamiento de pasivos ambientales y planes de emergencia ambiental, proponer y promover la implementación de las políticas para la gestión integral de sustancias y productos químicos entre otros; sin embargo no se ha logrado la implementación de las herramientas que permitan implementar estas funciones para el caso de los PCB, lo que ha creado un vacío en

las instituciones del Estado para establecer supervisión y gestión ante las empresas propietarias de PCB.⁶

4.5.2.4 Falta de capacidad en el departamento de aduanas para garantizar el cumplimiento de Convención de Estocolmo

La SUNAT - ADUANAS es responsable de la inspección y autorización de ingreso al país de los transformadores y aceite refrigerantes que regularmente contienen estos equipos, cuando son importados. Actualmente, los agentes de esta dependencia no tienen la formación, capacitación ni las herramientas para detectar PCB en los equipos que ingresen al Perú. Sin embargo, las obligaciones del artículo 3 de la Convención de Estocolmo ya aprobada y promulgada en el país, exige que la SUNAT - ADUANAS aplique un control estricto sobre la importación y exportación de tales equipos.

4.5.2.5 Falta de capacidad de las empresas para mantenimiento de equipos que contienen PCB

De acuerdo a Anexo A parte II de la SC, los equipos que contengan PCB (previamente identificados con la prueba con el kit Clor-N-Oil® de 50 mg/kg) requieren especial mantenimiento y su ciclo de vida (desde su construcción hasta cumplir con su vida útil), deberá cumplirse al 2025 a más tardar. Las empresas, que poseen estos equipos con PCB no tienen la capacidad para establecer prioridades y programas para el mantenimiento ni para reemplazar gradualmente los equipos eléctricos que contengan PCB.

Muchas empresas, además del personal involucrado en servicios para reciclado y regeneración de aceites de transformadores, no tienen capacitación, herramientas o conocimientos para diferenciar entre los aceites libres de PCB y los que están contaminados con PCB; por lo tanto, utilizan el mismo equipo para regenerar las

⁶ ROF de MINAM Art. 40°.- Funciones de la Dirección General de Calidad Ambiental

- a) Evaluar los riesgos ambientales asociados a los agentes físicos, químicos y biológicos y establecer las medidas de prevención y control correspondientes.
- b) Diseñar y supervisar la aplicación de los instrumentos de prevención, de control y de rehabilitación ambiental relacionados con los residuos sólidos y peligrosos, el control y reuso de los efluentes líquidos, la calidad del aire, ruido, radiaciones no ionizantes, las sustancias y productos peligrosos, y el saneamiento.
- c) Proponer los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), incluyendo la aplicación de estándares de nivel internacional en los casos que no existan ECA o LMP equivalentes aprobados en el país.
- d) Formular y proponer los criterios para la elaboración de los planes de prevención, descontaminación y de tratamiento de pasivos ambientales y planes de emergencia ambiental, y efectuar el seguimiento.
- e) Conducir el proceso para la Declaratoria de Emergencia Ambiental, en coordinación con el Instituto Nacional de Defensa Civil y el Ministerio de Salud, los Gobiernos Regionales y otras entidades con competencia ambiental.
- f) Proponer y promover la implementación de las políticas para la gestión integral de sustancias y productos químicos, en coordinación con las entidades correspondientes.

Las demás funciones que le asigne el Viceministerio de Gestión Ambiental.

capacidades dieléctricas de los dos tipos de aceite produciéndose la contaminación cruzada que se traduce en un gran número de equipos que han sido producidos después de 1983 con concentraciones de PCB por encima de 50 ppm (en el inventario se puede apreciar hasta el 23,5% de estos casos) (Mendoza, 2010). Esto es práctica común en la propagación del problema de contaminación PCB inadvertidamente.

De las visitas realizadas a cinco empresas de mantenimiento de transformadores (visitas realizadas por el autor y que permitió recopilar información para el diagnóstico) se puede asegurar que no se realiza el descarte de PCB antes de cualquier servicio de mantenimiento de transformadores, incrementando la posibilidad de contaminación cruzada y expansión de la contaminación. Sin embargo durante las entrevistas con los responsables aseguraron que no reciben equipos con PCB con más de 50 ppm, no se evidencian los equipos que les permita hacer esta determinación. Las dos empresas grandes que hacen este servicio y que cubren casi el 60% del mercado de transformadores si cuentan con los equipos y realizan este análisis al recibir los equipos y entregarlos al cliente (Mendoza, 2012).

La segregación adecuada de elementos contaminados con PCB y libres de PCB, así como su manejo y almacenamiento es necesaria para evitar la potencial contaminación cruzada. Además, el almacenamiento temporal de equipos y aceites que contengan PCB se debe realizar mediante medidas adicionales de seguridad para evitar derrames, incendios y vandalismo. Tales medidas de seguridad no son adoptadas en las instalaciones de almacenamiento del país. (Urs Wagner, 2010)

4.5.3 Barreras ambientales

4.5.3.1 Residuos de PCB son inapropiadamente dispuestos y aceite contaminado con PCB son ilegalmente incinerado al no haber descarte de PCB durante su comercialización

Existen compañías independientes que prestan servicios de mantenimiento de transformador en el Perú. Estos servicios incluyen la reparación de los transformadores contaminados con PCB. La reparación de transformadores antiguos es una práctica común en el Perú y por lo tanto los transformadores son reparados o reconstruidos después de su falla. Sin embargo existe un número de transformadores y es práctica común que sean desmantelados, la chatarra vendida y el aceite quemado y liberado al medio ambiente.

Esta práctica de disposición puede liberar los PCB y tener serios efectos adversos sobre el medio ambiente y los seres humanos, adicionalmente a su transporte a nivel global.

El hecho que no se haga análisis para detectar PCB durante las actividades de los servicios de mantenimiento y reparación de transformadores pone en riesgo a los trabajadores a estar expuestos a contaminación con PCB o que estos

contaminantes puedan ser liberados al medio ambiente tal como se explicó en el párrafo anterior.

De la visita que se ha hecho a empresas que operan transformadores con aceite dieléctrico de refrigeración, se sabe que los equipos que están fuera de servicio con vendidos y los aceites dieléctricos son quemados en pequeñas empresas como la fabricación de ladrillos. La baja calidad de la combustión de los aceites reciclados en estas plantas de fabricación de ladrillo u otras empresas que los queman mezclándolos con petróleo crudo hace que practiquen procesos ecológicamente poco sólidos y que pueden dañar aún más el medio ambiente y la población local generando y liberando COPs adicionales como las dioxinas y furanos.

4.5.3.2 Potenciales derrames de PCB durante el transporte y almacenamiento de equipos que contienen estos componentes

La falta de transporte adecuado, almacenes y planes de contingencia, podría ocasionar la liberación de PCB durante su transporte y almacenamiento. La mayoría de los equipos que están fuera de servicio se almacenan al aire libre sin ninguna protección. Se generan fugas de material, inducidos por la corrosión o conexiones sueltas o no correctamente realizadas, se producen y no son debidamente documentadas.

Estos descontrolados derrames de PCB crean puntos calientes en el medio ambiente. Estos lugares en la mayoría de los casos están ubicados cerca al mar y en otros casos finalmente irán a parar a él afectando el medio ambiente acuático permitiendo así el movimiento transfronterizo de la contaminación con PCB.

4.5.4 Barreras Tecnológicas

4.5.4.1 Falta de base de datos centralizada relacionada a la información de PCB a nivel nacional

Durante 2005-2006 a través de la DIGESA, se realizó un inventario de equipos que contienen PCB. La información recopilada durante este proceso de inventario se compila en el Informe de Inventario Nacional de PCB (Proyecto GEF/PNMA N° GFL-2328-2761-4747 2006), sin embargo, esta información no ha sido ingresada en una base de datos de manera centralizada que podría servir para sistematizar el control del contaminante.

4.5.4.2 Falta de equipos móviles y de laboratorio para identificación y monitoreo de equipos con PCB

Los equipos eléctricos (transformadores y capacitores) se distribuyen ampliamente en el país, se estima que el Perú tiene unos 50.000 transformadores dispersos a lo largo de su territorio. Un número significativo de estas unidades se instala en Lima, la mayoría de empresas concesionarias de electricidad y el total de las empresas mineras no tienen medios para detectar PCB a pesar que están

disponibles comercialmente en el país los kits y analizadores para la detección el PCB (Clor-N-Oil® y Analyzer 2000LX®).

En relación a laboratorios que están capacitados para realizar los análisis de PCB por métodos de cromatografía de gases el país cuenta con cuatro empresas que han acreditado el método, principalmente en aguas, suelos y aceites dieléctricos. Solamente se registra a uno por cada uno de éstas matrices. En la tabla siguiente se muestra los datos de estas empresas.

Tabla N° 2: Empresas acreditadas por INDECOPI para análisis de PCB en el Perú

Empresa: Cerper S.A.-Certificaciones del Perú S.A.

Código de Acreditación: 3

Fecha de Actualización: 2012-12-06

Laboratorio: Ambiental

Nº	Tipo de Ensayo	Norma	Año	Título	Productos
1	PCBs	EPA 8082A	2007	Polychlorinated Biphenyls (PCBs) by Gas Chromatography	Sedimentos, suelo
2	PCBs	EPA 8082A	2007	Polychlorinated Biphenyls (PCBs) by Gas Chromatography	Agua para uso y consumo humano, agua residual, agua salina, agua subterránea, agua superficial

Empresa: CORPLAB del Perú S.A.C.

Código de Acreditación: 29

Fecha de Actualización: 2012-11-14

Laboratorio: Medio ambiente

Nº	Tipo de Ensayo	Norma	Año	Título	Productos
1	Bifenilos policlorados (PCBs)	ASTM D4059 - 00(2010)	2000	Standard Test Method for Analysis of Polychlorinated Biphenyls in Insulating Liquids by Gas Chromatography	Aceites dieléctricos
2	Bifenilos Policlorados (PCBs)	EPA 8082 ^a , Rev.1	2000	Polychlorinated Biphenyls (PCBs) by Gas Chromatography	Agua de consumo, agua de desagüe doméstico, agua de desagües industriales, aguas subterráneas, aguas superficiales

Empresa: Envirolab Perú S.A.C.

Código de Acreditación: 11

Fecha de Actualización: 2012-08-22

Laboratorio: instrumentación

Nº	Tipo de Ensayo	Norma	Año	Título	Productos
1	Bifenilos Policlorados (PCBs)	EPA Method 8270D Revisión 4, February 2007	2007	Semivolatile Organic Compounds By Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)	Agua de efluente doméstico, agua de efluente industrial, agua salina, agua superficial

Empresa: SGS del Perú S.A.C.
 Código de Acreditación: 2
 Fecha de Actualización: 2012-12-14
 Laboratorio: Instrumentación orgánica

Nº	Tipo de Ensayo	Norma	Año	Título	Productos
1	PCBs	EPA 8082 A Rev.1	2007	Polychlorinated Biphenyls (PCBs) by Gas Chromatography	Agua de consumo, agua residual, agua subterránea, agua superficial, suelos

Es importante indicar que la DIGESA cuenta con un laboratorio que está capacitado para el análisis de PCB en aceites dieléctricos, sin embargo no cuenta con la respectiva acreditación de INDECOPI.

4.5.4.3 Falta de capacidad para tratamiento (descontaminación) de materiales con PCB

La falta de normas legislativas para demandar la Gestión Ambientalmente Racional de PCB ha dado lugar a que empresas interesadas en desarrollar estos servicios no se establezcan en el País, sin embargo a la fecha se ha registrado la empresa Kioshi del Perú SAC para ofrecer el servicio de Declorinación Química de PCB, pero hasta la fecha no la iniciado sus actividades comerciales.

Extensivamente el servicio que se ofrecen actualmente es la exportación de los desechos con PCB a incineradores europeos. Este servicio único de PCB sin embargo también es aplicable a los transformadores con bajo nivel de contaminación de PCB, los cuales todavía podrían ser rellenados y descontaminados mientras permanecen en uso.

4.5.5 Barreras de gestión de equipos

4.5.5.1 Falta de inventarios de equipos contaminados con PCB

Durante el proceso de desarrollo de PNI del SC se desarrolló un inventario preliminar de PCB. Este inventario se basó en encuestas atendidas voluntariamente y con información incompleta por parte de los propietarios de equipos. Basado en esto, se hace necesario que se levante un inventario completo (al 100% de equipos susceptibles a contener PCB) de tal manera que se pueda disponer la información veraz de la existencia de PCB en el país y planificar el más adecuado plan de disposición final o tratamiento.

4.5.5.2 Falta de lineamientos para el mantenimiento y disposición final de equipos conteniendo PCB

Las empresas propietarias de PCB, cuentan con procedimientos para realizar el mantenimiento de los equipos de transformación de manera estandarizada sin tener en cuenta la presencia probable de PCB, de tal manera que se incrementa el riesgo de propagación de la contaminación en caso que los equipos contengan PCB o más grave aún si se tratara de PCB puro.

Asimismo, la falta de un procedimiento adecuado para la identificación y manejo de equipos que contienen PCB no permitirá la adecuada y ambientalmente racional disposición final de dichos equipos.

4.5.5.3 Falta de capacidad instalada en el país para una mejor ejecución el Plan de Disposición final de equipos con PCB.

El promedio de vida útil de los equipos de transformación en el país es de 30 a 40 años. Muchos de estos equipos que han sido fabricados antes de 1983, han recibido mantenimiento operando por 10 a 20 años más; muchos de ellos todavía están funcionando. Este número de equipos a nivel nacional puede llegar fácilmente al 20 %. (Mendoza, 2010)

Por lo tanto, las herramientas para la eliminación ambientalmente racional de estos equipos son cruciales, los propietarios de equipos que potencialmente contienen PCB no tienen acceso a información sobre PCB ni a los requisitos de la SC. En este sentido, al no contar con las herramientas legislativas para el cumplimiento de los objetivos de la Convención de Estocolmo los mecanismos para su eliminación tampoco serán implementados o al menos las empresas no están obligadas a hacerlo.

4.5.5.4 Falta de procedimientos independientes para el mantenimiento de equipos con PCB y libres de PCB que causa la contaminación cruzada

Como quiera que los PCB no son identificados o detectados por las empresas de mantenimiento de equipos, no se disponen de líneas independientes de trabajo que aseguraría o eliminaría la posibilidad de la contaminación cruzada procurando la mezcla de equipos libres de PCB con los contaminados y por lo tanto presentándose la contaminación cruzada.

4.5.5.5 Equipos con PCB se encuentran todavía en uso debido a la falta de recursos que permitan su reemplazo o tratamiento adecuado

La falta de recursos y ausencia de apropiada gestión de los equipos contaminados a través de un programa de gestión hace que los propietarios continúen utilizando los equipos sin un procedimiento adecuado ni programas establecidos. De esta manera no se cumple con los requisitos del Anexo A parte II párrafo (b) de la SC.

4.5.6 Barreras de salud

4.5.6.1 Falta de capacidad técnica para manejo ambientalmente racional de la salud de los trabajadores

En la medida que los PCB no son identificados y sin contar con el inventario de los mismos, los procedimientos operativos de las empresas relacionados a su operación y los servicios de mantenimiento no cuentan con las medidas especiales de seguridad y protección que son necesarios para los trabajadores cuando van a manipular estos materiales tóxicos. De las visitas que se han podido hacer a las

empresas eléctricas y mineras con la finalidad de difundir tecnología para detección de PCB (Mendoza, 2012), existe un desconocimiento de medidas básicas de protección por parte de los trabajadores en manejo de PCB que podrían reducir los riesgos como producto de su exposición a estos compuestos tóxicos

4.5.6.2 Falta de lineamientos y entrenamiento de los trabajadores que operan o están expuestos a equipos contaminados con PCB

Debido a la falta de conocimiento e identificación de PCB en aceites que contienen los equipos, es que no hay directrices ni procedimientos denominados BEP (mejores prácticas ambientales) en el entorno al trabajo donde los trabajadores pueden tener contacto directo con PCB. Esta falta crea riesgos potenciales para la salud de los miembros del personal.

4.5.7 Barreras cognoscitivas

4.5.7.1 Falta de conocimiento de prácticas ambientalmente racionales de transporte y almacenamiento de materiales contaminados con PCB

En la actualidad, muchos de los dispositivos que contienen los aceites al ser dados de baja, no son analizados para comprobar si contienen PCB antes de que sean transportados o almacenados. Muchos de ellos no se manejan separadamente (equipos con PCB y los no contaminados), este aspecto incrementa sustancialmente el riesgo de contaminación cruzada y lo que es peor se aplican prácticas inadecuadas de disposición final (venta de chatarra y quema de aceites) que provocan la liberación de contaminante PCB al medio ambiente de manera involuntaria.

4.5.7.2 Falta de conocimiento en la práctica para la disposición final de materiales contaminados con PCB

El Perú no tiene la capacidad local tecnológica para procesos de descontaminación de materiales con PCB, tampoco se ha realizado un análisis de la mejor alternativa internacional que se adapte a la realidad nacional, esto produce que la gestión de este tipo de residuos sea débil o inexistente. Las empresas que voluntariamente han realizado identificación de PCB están almacenando los productos con el riesgo de su liberación involuntaria u ocurrencia de accidentes que afectarían al medio ambiente y la salud de los trabajadores. Adicionalmente, fuentes de información y datos técnicos para la mejor selección de tecnologías no están disponibles en el país.

4.5.7.3 Falta de conocimiento de los requerimientos y métodos que se indican en el Convenio de Estocolmo para el adecuado manejo ambientalmente racional de materiales contaminados con PCB.

En general, tanto los principales actores en la industria ya sea minera, energética o de la producción en general cuentan con departamentos ambientales con limitada

o nula difusión de la información sobre el Convenio de Estocolmo. Las empresas medianas o pequeñas carecen completamente de esta información sobre todo de contaminantes orgánicos persistentes como los PCB. Las campañas de difusión del Convenio de Estocolmo no proporcionan información a los interesados.

4.5.7.4 Falta de conciencia por parte de las autoridades competentes de las obligaciones del Convenio de Estocolmo y políticas para su implementación

Pese a que el país cuenta con el Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo, éste no ha sido aprobado. Este hecho ha dilatado o no ha impulsado su difusión y sensibilización a nivel nacional, especialmente a las autoridades que deben tomar decisiones sobre su aplicación. Los funcionarios que participaron en la elaboración de dicho Plan han sido removidos de los cargos y los compromisos que inicialmente se tuvo se ha disipado haciendo que el objetivo del Plan sea más dificultoso de alcanzar.

4.5.7.5 Falta de intercambio de información y experiencias entre los propietarios de PCB

El diagnóstico realizado para la elaboración del Plan Nacional de Implementación (PNI) también identificó que hay una falta de intercambio de información y experiencias sobre contaminantes orgánicos persistentes y por lo tanto es necesario hacer frente a esta situación.

En el Estado Peruano se cuenta con un ente fiscalizador, OEFA que es actualmente el organismo fiscalizador, que no ha recogido hasta la fecha las experiencias del OSINERGMIN en la supervisión de PCB en las empresas eléctricas, esta situación es más acentuada en las empresas mineras donde las acciones han sido tomadas voluntariamente por las mismas empresas mineras y sin el intercambio de experiencia con los pares.

4.5.7.6 No existe un ente centralizado de la información de PCB

Información general sobre contaminantes orgánicos persistentes y la información específica sobre PCB debería estar disponible al público, especialmente relacionado a su salud y los riesgos ambientales. Debería además elaborarse reportes del progreso que se tiene en relación al Convenio de Estocolmo.

4.5.7.7 Bajo nivel o en general falta de conciencia de los riesgos a la salud de la contaminación con PCB

El Instituto del Mar del Perú ha ubicado áreas con grave contaminación marina en Callao y Chimbote, con contaminación moderada en Pisco, San Juan y Paita y con contaminación lumínica en Matarani e Ilo. El Arocolor 1254 ha sido detectado con más frecuencia y en mayores concentraciones en peces como la "lisa" (87,7 ng/g). Concentraciones de por encima de 45 ng/g fueron encontrados en el caracol negro en Pisco (septiembre de 1997) y Huacho (mayo 1998). Esta información

importante acerca del grado de contaminación de PCB en el Perú no está correctamente difundida a la población. La falta de un responsable de contaminantes orgánicos persistentes relacionados con la información dentro del gobierno del Perú para la recopilación y difusión de esta información impide potencialmente a la población expuesta a tomar las medidas adecuadas para su seguridad.

4.6 Riesgos

La falta de normatividad en el sector para el manejo ambientalmente racional de los PCB incrementa el riesgo de liberación involuntaria de PCB al no tener la obligación de identificarlos y aplicar medidas de disposición final adecuados.

Alto riesgo de contaminación de los trabajadores que están en contacto con equipos y materiales que no cuentan con análisis de descarte de PCB y que pueden contener PCB como transformadores, capacitores y otras aplicaciones abiertas, semi-cerradas y cerradas.

Alto riesgo a que los fluidos de transformadores con alta concentración de PCB sean diluidos voluntariamente o involuntariamente al no haber obligación de aplicar medidas ambientalmente racionales de gestión de PCB.

Alto riesgo de la población a ser contaminados con PCB produciéndose daño a la salud (cloroacné, afectación al sistema inmunológico, vista, cerebro, etc.) en el caso de producirse accidentes ambientales como derrames o incendios de equipos que contienen PCB y que por otro lado al no ser identificados no es posible la aplicación de acciones de respuesta ante contingencias que debe ser parte de un Plan de Gestión de PCB.

La falta de infraestructura y medios de promoción para que empresas privadas establezcan tecnologías para tratamiento de PCB, incrementa el riesgo de contaminación ambiental debido a que éstos no son identificados y cuando lo son, están siendo almacenados en condiciones sub-estándar.

Hasta la fecha ya ha pasado 6 años de la ratificación de los acuerdos del Convenio de Estocolmo sin avances sustanciales en su implementación (no se cuenta con legislación específica y no se cuenta con el inventarios de PCB) lo que pone en riesgo el alcance de los objetivos de dicho convenio y el cumplimiento de los compromisos del país.

4.7 Inventario o existencias de PCB en el país

Se tiene conocimiento que al menos 23 empresas⁷ de los sectores de electricidad, minería e industria (Tabla N° 3) han realizado actividades de identificación de PCB por cuenta propia y como parte de su responsabilidad empresarial.

⁷ Detección de PCB en empresas del sector energético desarrollado por Minpetel S.A.

Este Descarte de PCB se ha realizado principalmente utilizando la norma EPA SW-846 Method 9079 y Method 9078 (método químico con estimación colorimétrica y método químico con cuantificación electrométrica; Dexsil™ Clor-N-Oil® y Analyzer L2000-DX®).

De la información que se dispone se puede concluir que el trabajo realizado por las empresas ha permitido contar con el descarte de PCB de al menos 2390 transformadores que puede representar el 5% del parque nacional.

Del total de equipos analizados se ha encontrado un 12% de resultados positivos a los PCB, lo que significa que pueden contener PCB (detección de cloro en la muestra de aceite dieléctrico de 290 equipos del total de 2390).

Tabla N° 3: Resultado de los análisis de descarte de PCB (Clor N Oil ®)⁸

Empresa	Número de equipos analizados resultados Negativos	Número de equipos analizados resultados Positivos	Total de equipos analizados	Total
Empresa 1	254	12	266	11%
Empresa 2	117	2	119	5%
Empresa 3	18	0	18	1%
Empresa 4	5	0	5	0%
Empresa 5	11	0	11	0%
Empresa 6	47	19	66	3%
Empresa 7	7	1	8	0%
Empresa 8	53	13	66	3%
Empresa 9	273	114	387	16%
Empresa 10	172	14	186	8%
Empresa 11	3	0	3	0%
Empresa 12	423	32	455	19%
Empresa 13	2	0	2	0%
Empresa 14	12	0	12	1%
Empresa 15	17	1	18	1%
Empresa 16	118	9	127	5%
Empresa 17	91	18	109	5%
Empresa 18	43	7	50	2%
Empresa 19	6	1	7	0%
Empresa 20	72	16	88	4%
Empresa 21	18	2	20	1%
Empresa 22	6	0	6	0%
Empresa 23	332	29	361	15%
Total general	2100	290	2390	100%

Fuente: Minpetel S.A. (2006 - 2011)

Es importante mencionar que el alrededor del 30% de ellos no cuentan con la información técnica de la placa de fabricación o no es posible obtenerla. De acuerdo a la Convención de Estocolmo, éstos son lo que se deben considerar como elementos sospechosos de contener PCB y por lo tanto tienen prioridad para ser analizado o descartar la presencia de PCB.

⁸ Clor-N-Oil ® en un producto desarrollado por Dexsil que identifica la presencia de PCB en aceites dieléctricos mediante la verificación de presencia de Cloro en la matriz.

Como se mencionó anteriormente aproximadamente el 12% de los equipos presentaron resultados positivos en la prueba con el kit Clor-N-Oil de 50 ppm. Esto podría conducir a asegurar que se trata de PCB.

Los equipos que mostraron resultados positivos fueron construidos principalmente entre los 40's hasta el 2010 (Tabla N° 4). Si tomamos en cuenta los años de fabricación se tiene que el 26% han sido fabricados antes de 1983, año en el cual se prohibió la construcción de equipos con PCB en EEUU de Norteamérica y Europa, mientras que el 45% se fabricó después de la fecha de prohibición⁹.

Adicionalmente, se ha registrado que el 29% de los posiblemente contaminados con PCB no tienen datos de placa y no se puede asegurar si éstos han sido fabricados antes o después de la fecha de prohibición.

Este resultado nos hace pensar que hay un importante número de equipos que han sido producto de la contaminación cruzada (contacto con elementos contaminados con PCB) durante actividades de mantenimiento y por lo tanto la liberación del elemento contaminante en el medio ambiente no es improbable, agravando la situación de la salud ambiental y salud pública.

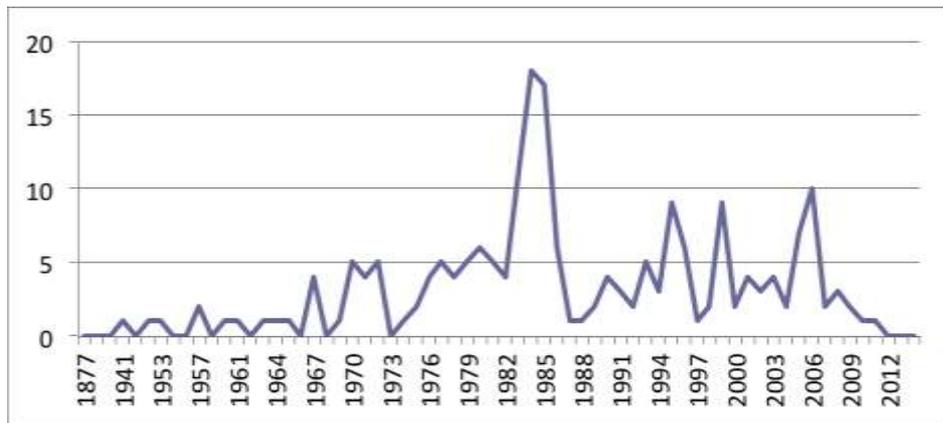
Tabla N° 4: Transformadores posiblemente contaminados con PCB de acuerdo al año de fabricación

Fecha de fabricación del transformador	Número de transformadores con resultados negativo	Número de transformadores con resultados positivo	Número de transformadores analizados
1877	1		1
1933	1		1
1936	1		1
1941		1	1
1951	1		1
1952		1	1
1953		1	1
1954	1		1
1956	2		2
1957	1	2	3
1959	1		1
1960	4	1	5
1961	2	1	3
1962	13		13
1963	2	1	3
1964	1	1	2
1965	5	1	6
1966	13		13
1967	24	4	28
1968	16		16
1969	4	1	5
1970	16	5	21
1971	20	4	24

⁹ Establecido por la EPA, "PCB Use in Electrical Equipment", 48 FR 7172 de febrero de 1983.

Fecha de fabricación del transformador	Número de transformadores con resultados negativo	Número de transformadores con resultados positivo	Número de transformadores analizados
1972	20	5	25
1973	17		17
1974	29	1	30
1975	18	2	20
1976	57	4	61
1977	42	5	47
1978	34	4	38
1979	49	5	54
1980	53	6	59
1981	25	5	30
1982	39	4	43
1983	35	11	46
1984	29	18	47
1985	41	17	58
1986	17	6	23
1987	28	1	29
1988	20	1	21
1989	13	2	15
1990	16	4	20
1991	18	3	21
1992	21	2	23
1993	35	5	40
1994	38	3	41
1995	68	9	77
1996	45	6	51
1997	56	1	57
1998	27	2	29
1999	32	9	41
2000	41	2	43
2001	35	4	39
2002	19	3	22
2003	35	4	39
2004	30	2	32
2005	32	7	39
2006	63	10	73
2007	37	2	39
2008	58	3	61
2009	48	2	50
2010	36	1	37
2011	35	1	36
2012	2		2
Sin Dato	578	84	662
Total general	2100	290	2390

Fuente: Minpetel S.A.



Fuente: Elaboración propia

Figura Nº 3: Distribución de equipos con resultados positivos según año de fabricación

Tabla Nº 5: Transformadores posiblemente contaminados con PCB de acuerdo a la potencia del equipo

Potencia (kVA)	Número de transformadores con resultados negativo	Número de transformadores con resultados positivo	Número de transformadores analizados
3	1		1
10	19	3	22
12	1		1
13	1		1
15	15	4	19
16	1		1
20	8	1	9
25	77	15	92
26	1		1
30	2	3	5
32	2		2
33	4		4
35	3		3
36	1		1
36,5	1		1
37,5	66	7	73
38,5	2	1	3
40	5	1	6
50	147	37	184
56		1	1
60	7		7
64	2		2
65	1		1
67	3		3
69	3		3
73	1		1
75	40	8	48
80	26	5	31
90	2		2
95		1	1

Potencia (kVA)	Número de transformadores con resultados negativo	Número de transformadores con resultados positivo	Número de transformadores analizados
100	212	37	249
101	1		1
120	2	1	3
125	8	3	11
140	2		2
150	24	2	26
160	199	34	233
184	1		1
200	49	4	53
210	2		2
230	3		3
240		1	1
250	143	12	155
270	2	2	4
275	1		1
300	16	1	17
315	8	1	9
320	44	4	48
325		1	1
333	1		1
350	17		17
400	65	6	71
500	58	5	63
550	1		1
600	16	1	17
620	1		1
630	38	1	39
640	10		10
700	4		4
750	3		3
800	9	1	10
801	1		1
850	1		1
954	1		1
1.000	33	3	36
1.010		1	1
1.200	2	1	3
1.220	1		1
1.250	19	1	20
1.300		1	1
1.500	13		13
1.600	3	1	4
1.650	2		2
1.700		1	1
1.800	1		1
1.880	2		2
1.984	1		1
1.995	3		3
1.996	1		1

Potencia (kVA)	Número de transformadores con resultados negativo	Número de transformadores con resultados positivo	Número de transformadores analizados
2.000	14		14
2.250	1		1
2.300	5	1	6
2.335	5		5
2.500	22		22
2.535	6		6
3.000	11	1	12
3.500	13	1	14
3.750	2		2
4.500	1		1
5.000	10		10
5.500	2		2
6.000	1		1
7.000	1		1
7.700	2		2
8.000	1		1
9.000	1		1
9.300	10		10
10.910	1		1
11.000	1		1
11.500	4		4
12.500	1		1
14.000	6		6
15.000	5		5
15.500	1		1
16.000	2		2
18.000	1		1
20.000	5		5
23.300		1	1
25.000	7		7
28.000	1		1
30.000	2		2
40.000	8		8
50.000	2		2
60.000	1		1
100.000	2		2
210.000	2		2
230.000	1		1

Fuente: Minpetel S.A.

5 Estrategias de gestión de PCB

Los riesgos mencionados en el diagnóstico descrito en el acápite anterior otorga al país la oportunidad de proponer medidas que permita implementar lo siguiente que formará parte de la estrategia que es el objetivo de este trabajo de investigación:

- Se puede contar con un Reglamento de PCB que regule la gestión adecuada de PCB en todos los sectores productivos del país. Esta acción se podría implementar por el MINEM en coordinación con MINAM y DIGESA, extendiendo la participación de los propietarios de PCB.
- Se puede contar con un inventario de PCB con la posibilidad de extender los alcances a sitios e instalaciones contaminadas que nos permitan elaborar mapas de zonas y lugares posiblemente contaminados o “hot points” que puede ser implementado por el MINAM y la OEFA.
- Se puede programar y diseñar campañas que recogiendo las experiencias de otros países permitan una adecuada sensibilización de la población y procurar una adecuada capacitación y respuesta para casos de emergencias (MINAM en coordinación con ONGs).
- Se pueden diseñar y poner en marcha adecuadas medidas preventivas de protección de la salud pública en relación de toxicidad de PCB.
- Se puede proyectar programas de salud con la finalidad de analizar los impactos que podría tener la salud de las personas en lugares sensibles y posiblemente contaminados con PCB (MINAM en coordinación con DIGESA/CENSOPAS).
- Incrementar la capacidad analítica del país para gestionar los PCB con las consecuencias ventajas de reducir los periodos de tiempo de análisis y costo para las empresas poseedoras de PCB, donde INDECOPI podría tener a su cargo la acreditación y la DIGESA implementar el proceso de Inter Laboratorios¹⁰.
- Promover la creación de empresas que realicen el tratamiento de PCB a nivel nacional incrementando las posibilidades de realizar una gestión de dichas sustancias de manera ambientalmente racional dentro del sector productivo del país (PRODUCE).

La estrategia que se desarrolla a continuación esta compuesta por la descripción detallada de los elementos organizativos, normativos, funcionales y técnicos que en conjunto tienen por objetivo lo siguiente:

- Contar con las entidades más importantes como son las organizaciones estatales y privadas que deberán tener los roles que permitan la adecuada gestión de los PCB, el control por parte del estado peruano y finalmente la protección de la salud de las personas y del medio ambiente.

¹⁰ Evento en el cual se determina a los laboratorios que analizando muestras con concentración de PCB conocidas son técnicamente aceptables para garantizar resultados acertados.

- Diseñar un esquema con los elementos físicos e instrumentos ambientales que viabilicen los objetivos del Estado para la eliminación de los riesgos que conllevan los PCB.
- Seleccionar los procedimientos y equipos que utilizados y aplicados en la aplicación de la estrategia reporten los resultados que se espera dentro de una gestión ambientalmente racional de los PCB.
- Finalmente, se desarrollará procedimientos y medidas adecuadas para la prevención y respuesta de emergencias y accidentes ambientales con PCB.

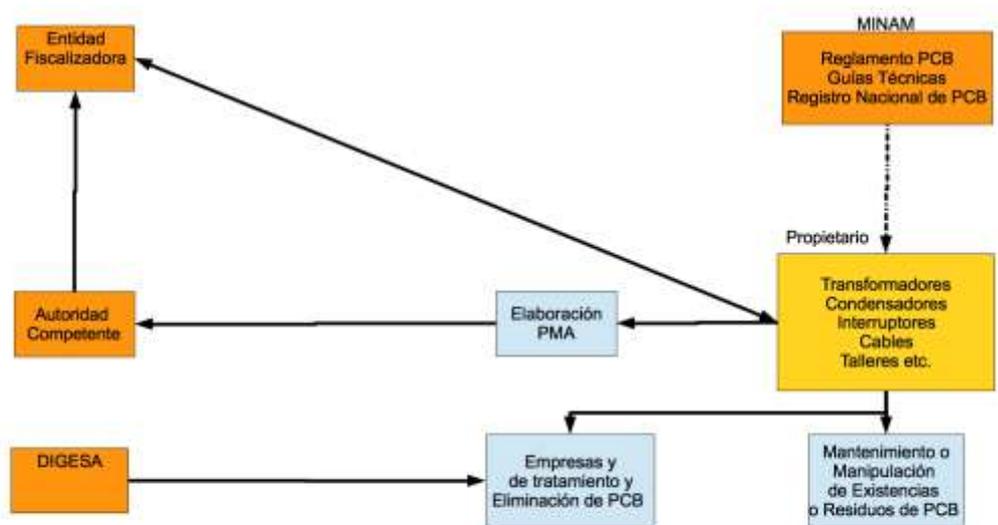
5.1 Estructura funcional, legislativa e instrumentos ambientales

La estrategia que se propone en este trabajo servirá para contar con el inventario de PCB en el país, el control de los elementos (equipos, residuos e instalaciones contaminados con PCB), asegurar su adecuada gestión, eficiente tratamiento y/o disposición final de los elementos contaminados con PCB.

Ante todo lo principal es contar con una herramienta legislativa que regule todo este mecanismo; principalmente en la asignación de roles de los organismos del Estado y los Propietarios de las existencias contaminadas con PCB. Como elementos complementarios deberá regular los roles de los órganos de control, servicios tecnológicos (empresas para análisis de PCB tratamiento y disposición final). Además, deberá fijar las fechas máximas de cumplimiento de obligaciones hasta lograr los compromisos asumidos en el Convenio de Estocolmo.

Los principales actores que se proponen en esta estrategia son:

- Ministerio del Ambiente (MINAM)
- Propietarios de los PCB
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)
- Autoridades competentes (Ministerio de Energía y Minas, Ministerio de la Producción, etc.)
- Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA)
- Empresas de servicios de fabricación y mantenimiento de transformadores.
- Empresas de detección de PCB y laboratorios para el análisis de PCB (laboratorios)
- Empresas de servicio de tratamiento y disposición final de PCB.



Fuente: Elaboración propia

Figura Nº 4: Gráfico de actores principales y su rol

5.1.1 Ministerio del Ambiente (MINAM)

El Ministerio del Ambiente como autoridad máxima que tiene el Estado Peruano deberá emitir la norma legislativa a la cual se refiere el párrafo anterior como parte de sus funciones de formular, planificar, dirigir, coordinar, ejecutar, supervisar y evaluar la política nacional del ambiente.

El Reglamento de Gestión de PCB deberá garantizar su cumplimiento por lo que deberá ser viable tecnológicamente con niveles de exigencias acordes con la realidad nacional y plazos realistas; a lo largo del desarrollo de esta tesis se irá fijando plazos y valores que forman parte de la estrategia para hacer de este Reglamento más efectivo.

El MINAM además fijará los roles de los actores y establecerá la concentración máxima permitida, así como de asegurar la fiscalización, supervisión, evaluación y control de los PCB y establecer las medidas sancionadoras.

Otra actividad importante que se deberá realizar es la de establecer una base de datos a nivel nacional para la recopilación de reportes del inventario de equipos y residuos con PCB. Esta base de datos está constituida por una plataforma a través de la Internet mediante la cual los propietarios de PCB reportaran los datos del inventario de PCB. Esta base de datos estará administrada por el MINAM - SINIA. Esta base de datos tendrá las características y el software deberá ser diseñado de

tal manera que el acceso a la información será permitida bajo los siguientes criterios de selectividad (Ver Anexo N°5):

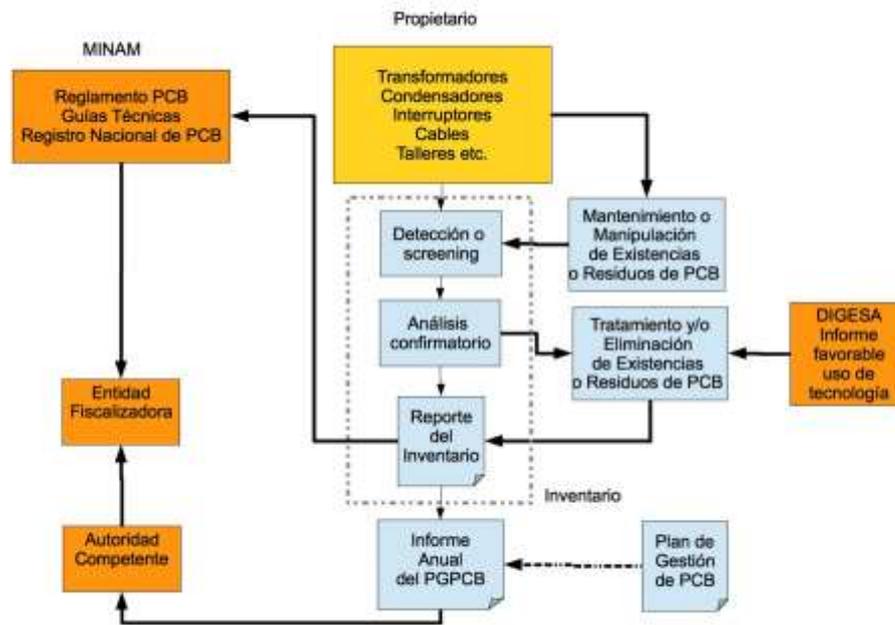
- Los propietarios de los PCB tendrán acceso a la información generado por su empresa y será posible elaborar reportes con filtros seleccionables.
- EL MINAM podrá acceder a la información de carácter general con la finalidad de tener reportes del desarrollo de los PCB a nivel nacional y de todos los sectores productivos. Los reportes que se generen en este ámbito son de carácter estadístico y discriminado por sectores en base a que serán insertados en el Proyecto del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC).
- La OEFA, como organismo fiscalizador tendrá acceso a la información de todas las empresas del sector de energía y minas, con la visión de fiscalizar el cumplimiento del reglamento de PCB y los Planes de Gestión de los PCB que hayan sido aprobados.

5.1.2 Propietarios de los PCB

Los propietarios de las existencias con PCB son quizás los más importantes actores del sistema de eliminación de PCB ya que son éstos los que tienen los elementos contaminados con PCB (equipo contenedor o materia que tiene PCB con una concentración mayor de 2 ppm) o que son PCB (equipo o contenedor con PCB puro).

Este rol además los expone como los ejecutores de las actividades directamente relacionadas con los PCB, como son las siguientes:

- Inventario de PCB (compuesto de un proceso de descarte de PCB, análisis y elaboración de una base de datos) que deberá ser puesto a consideración de la Autoridad Competente por que se trata de un instrumento ambiental fiscalizable.
- Elaboración de un Plan de Gestión de PCB que deberá ser aprobado por la autoridad sectorial competente y culminará con la eliminación de los PCB que tiene el propietario de las existencias contaminadas con PCB en un plazo que no deberá sobrepasar la meta del 2025 que se fija en el Convenio de Estocolmo. Anualmente se deberá informar al Estado (OEFA) del avance de este plan.
- Ejecutar las actividades de tratamiento y disposición final de PCB (ejecución del Plan de Gestión de los PCB) asegurando la reducción de su concentración debajo del límite máximo permitido.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5: Principales actividades que se deberá llegar a cabo

5.1.3 Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)

El OEFA, tendrá la función importante de fiscalizar el cumplimiento del Reglamento de Gestión de PCB, y por lo tanto el control y asegurarse que los propietarios de PCB elaboren el inventario, el Plan de Gestión de PCB y lo ejecuten hasta lograr la eliminación progresiva antes del 2025 para los equipos que estén en operación y 2018 para los residuos en general.

La fiscalización se podría realizar a través de un Sistema de Control de PCB (Mendoza, 2010), mediante el cual se logrará hacer el seguimiento de los elementos conteniendo PCB desde su detección hasta su eliminación. El Sistema de Control de PCB tiene un esquema que considera el desarrollo de una base de datos (que estará bajo la administración del MINAM y que se describió antes), un software que permitirá el registro de PCB a nivel nacional y su aplicación para el control y reporte de avance anual.

Por parte del OEFA en base a la estrategia que se desarrolla en este trabajo de investigación, podrá elaborar la Guía de Fiscalización para fijar los parámetros, el procedimiento, la frecuencia de fiscalización y las sanciones o incentivos (ver figura N° 6).



Fuente: (Minpetel S.A., 2010)

Figura N° 6: Esquema de Diseño del Procedimiento de Control y Vigilancia de PCB en el Sub Sector Eléctrico

Algunas características más importantes que se deberá tener en cuenta para las acciones de fiscalización son:

- Durante los 24 meses de duración del Inventario de PCB se deberá realizar visitas inopinadas (a las empresas que presenten indicadores de gestión bajos) con la finalidad de verificar la correcta aplicación de los métodos de descarte y análisis de PCB, durante esta visita se deberá realizar un descarte de PCB al 3% al menos de equipos existentes en la empresa con la finalidad de verificar el procedimiento.
- El Software del Procedimiento de Control y Vigilancia de PCB (que se describe en el Anexo N°5) permitirá elaborar indicadores de avance y comportamiento de las empresas propietarias de PCB, y por lo tanto permitirá además dar los criterios de prioridad para realizar las visitas de campo.
- El cumplimiento y avance en la ejecución del Plan de Gestión de PCB deberá ser reportado por parte de los propietarios de PCB anualmente ante la Autoridad Competente que luego deberá ser remitido al OEFA para proceder con su control.
- Todo el sistema de control deberá ser difundido convenientemente con la finalidad de ser del entendimiento de todas las empresas fiscalizadas y recoger de parte de ellas la opinión y sugerencias que podría ser adoptadas para el mejor funcionamiento del mismo.

5.1.4 Autoridades competentes (Ministerio de Energía y Minas, Ministerio de la Producción, etc.)

Las Autoridades Competentes son las organizaciones del estado que constituyen los entes rectores para las personas jurídicas que desarrollan actividades productivas en el país. En este caso las empresas propietarias de PCB deberán reportar y solicitar la aprobación de los Planes de Gestión de PCB de las empresas de acuerdo a los requisitos mínimos que deben contener y que una vez aprobados serán enviados al organismo fiscalizador que es el OEFA en este caso.

Las autoridades competentes son:

1. Ministerio del Ambiente (MINAM)
2. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)
3. Autoridades sectoriales competentes
4. Ministerio de Salud – DIGESA
5. Superintendencia Nacional de Administración Tributaria (SUNAT)
6. Gobiernos Regionales
7. Gobiernos locales

Los requisitos mínimos que se debe exigir en el Plan de Gestión de los PCB son:

- Aspectos generales
- Introducción
- Identificación de existencias con PCB (Inventario)
- Evaluación de riesgos para la toma de decisiones
- Medidas preventivas en sistemas con PCB
- Almacenamiento y Transporte de existencias contaminadas con PCB
- Tratamiento y eliminación de PCB
- Actividades de capacitación, difusión y medidas de respuesta a accidentes ambientales con PCB
- Asignación de responsabilidades
- Indicadores de Gestión de PCB
- Cronograma de actividades y presupuesto

Para la etapa de eliminación de PCB y antes que los propietarios de PCB inicien las actividades de declorinación, será la Autoridad Competente la que apruebe o de la conformidad del PMA que será necesario elaborar para ejecutar la declorinación con la seguridad que esta no impacte al medio ambiente y sea racionalmente ambiental.

5.1.5 Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA)

La DIGESA como organismo que vela por la salud ambiental del país tendrá la responsabilidad de emitir un Informe de opinión al uso de tecnologías de declorinación. Las empresas que se constituyan en el país y que dentro del marco

del Reglamento para la Gestión y Manejo de los PCB, realizarán las actividades de declorinación, deberán contar con una tecnología reconocida y probada para su aplicación comercial. La DIGESA deberá verificar y analizar la efectividad del procedimiento y su impacto en el ambiente de las operaciones; al final de ello deberá emitir un Informe de Opinión que de ser favorable permitirá a la empresa de tratamiento de PCB a realizar la declorinación. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que para que un propietario de PCB realice la declorinación de sus equipos en sus instalaciones de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica o unidad minera o industrial, deberá además contar con un Plan de Manejo Ambiental (PMA) aprobado por la Autoridad Competente.

5.1.6 Empresas de servicios de fabricación y mantenimiento de transformadores.

Las empresas de servicio de fabricación y mantenimiento de transformadores son las encargadas de realizar las operaciones de reparación y mantenimiento de estos equipos, generalmente las empresas de este tipo se encuentran en la ciudad de Lima y tanto las empresas mineras como las de servicio público de electricidad que finalmente son propietarias de la mayor cantidad de PCB a nivel del país las utilizan para actividades de cambio de aceite u otra reparación mayor de estos equipos.

Estas empresas son unos componentes muy importantes en el sistema de eliminación de PCB, ya que como se dijo, en el capítulo de diagnóstico, existe casi un 22% de equipos con PCB que han sido contaminados de manera cruzada y esto quiere decir que han sido durante las actividades de mantenimiento y reparación.

Por ello, la función de estas empresas son muy cruciales en la medida que realicen las actividades de mantenimiento siguiendo una guía (Mendoza, 2012) que evite la contaminación cruzada, estas medidas de maniobra de equipos son principalmente los siguientes:

5.1.6.1 Actividades de operación

Durante las actividades de operación con equipos con PCB se presentan riesgos principalmente en los siguientes factores ambientales:

Tabla Nº 6: Principales riesgos durante la operación de transformadores con PCB

Factores	Riesgo
Suelo	Contaminación de suelos, contaminación de aguas superficiales y subterráneas con PCB Contaminación de trabajadores y población en general
Aire	Incendio, liberación de dioxinas y furanos
Agua	Contaminación de flora, fauna y población
Salud y seguridad	Contaminación de la población y trabajadores

Las actividades que producen estos riesgos son:

- Operación de equipos con PCB (energización)

- Limpieza de aisladores
- Temperatura de los transformadores
- Toma de muestra de aceite dieléctrico
- Mantenimiento de silica gel

Medidas de control de riesgos

1. Los equipos que contengan una concentración mayor de 50 ppm de PCB y se encuentren en condiciones óptimas de operación podrán seguir operando con las siguientes restricciones:
 - No podrán ser sometidos a mayores cargas que el 80% de su capacidad nominal con la finalidad de asegurar que la temperatura del fluido no se incremente y se reduzca al máximo la posibilidad de incendio.
 - No podrá estar instalado en lugares de alta sensibilidad, es decir, a no menos de 50 m de centros de estudios, áreas urbanas densas, mercados, hospitales, centros comerciales.
 - Deberán contar con mallas o muros de protección (cercas de alambre o muros de ladrillo) que eviten el acceso al personal no autorizado.
 - Deberán contar con una poza de seguridad para contener al menos el 110% del volumen de aceite dieléctrico en caso de producirse una falla o derrame del fluido, esta poza deberá ser cubierta con plancha metálica de al menos ¼ de pulgada o geo-membrana con una densidad del polímero de 0,937 y 5,2 mm de espesos para al menos 20 kPa, para evitar la contaminación del concreto con PCB.
 - Instalar en el lugar un kit completo de control de derrames, incendios y emergencias médicas.
2. La empresa deberá dotar a los trabajadores de los equipos de protección personal (EPP) con las características sugeridas en este documento y que serán utilizados solamente para equipos con contenido de PCB, los EPP serán en lo posible desechables (su disposición final deberá ser tratada como cualquier existencia dependiendo de la concentración de PCB que presenten), en caso de no ser así, estos accesorios serán almacenados luego de ser limpiados con solventes (como el percloroetileno) y almacenados en un lugar especial del almacén de equipos y materiales contaminados con PCB¹¹.
3. La empresa deberá disponer de un juego de herramientas que solamente será utilizada cuando sea necesario intervenir un equipo con PCB, dicho juego de herramientas deberá ser almacenado debidamente aseados con solventes en el almacén de equipos y materiales contaminados con PCB.
4. Los trabajadores, antes de intervenir un equipo para mantenimiento o maniobras, deberán utilizar los EPP que se indican en este documento obligatoriamente, un incumplimiento de esta disposición es considerada falta grave y será sancionada de acuerdo al Reglamento Interno de la empresa.

¹¹ La Empresa deberá disponer de un almacén debidamente acondicionado para equipos y elementos contaminados con PCB con concentraciones iguales o mayores de 50 ppm.

5. Inspección física del equipo con una frecuencia no mayor a dos semanas para detectar fallas estructurales o fugas de aceite dieléctrico perforaciones, oxidación o alta temperatura.
6. Durante las actividades de limpieza de los bujes del transformador, se deberá utilizar fluidos y accesorios que deberán ser dispuestos adecuadamente de acuerdo a lo recomendado en el acápite 3.4 de esta tesis.
7. Durante la extracción de muestra de aceite se debe utilizar medidas para evitar su fuga, colocar revestimientos plásticos o de alfombrillas absorbentes debajo de los equipos o contenedores antes de abrirlos si la superficie de la zona de contención no está recubierta con algún material de protección (pintura, uretano o resina epóxica).
8. Durante las actividades de mantenimiento será necesario la utilización de bombas, sistemas de tuberías y cilindros especiales, que no se utilicen para otros fines, para trasvasar los desechos líquidos.
9. Después de las actividades de mantenimiento o maniobra de campo, se deberá asegurar la limpieza de todo líquido derramado con paños, papel o absorbentes.
10. Se deberá aplicar el triple enjuague de las superficies contaminadas con un disolvente como keroseno para eliminar todo PCB residual.
11. Se deberá almacenar adecuadamente en espera de su tratamiento final (ver el acápite 3.4) todos los absorbentes y solventes del triple enjuague, ropas de protección desechables y revestimientos plásticos como desechos que contengan PCB, o estén contaminados con ellos.

5.1.6.2 Actividad de mantenimiento y reparación

Los mayores riesgos originados por la manipulación de transformadores con PCB durante las actividades de mantenimiento y reparación se dan en:

- Salud y seguridad
- Contaminación cruzada

Las actividades que producen estos riesgos son:

- Mantenimiento del aceite aislante
- Mantenimiento e inspección de las empaquetaduras
- Inspección del aislamiento de los bujes
- Mantenimiento e inspección de los relés de protección
- Reparación de núcleo, arrollamiento de alta y baja tensión

Medidas de control de riesgos

1. Los equipos que ingresen a los talleres de servicio, deberán ser analizados para detectar la presencia de PCB, salvo que éstos tengan un certificado de análisis positivo de PCB indicando la concentración presente. El análisis al cual se refiere este párrafo puede ser un análisis químico con determinación

- colorimétrica (igual o similar al Clor-N-Oil® de 50 ppm y preferiblemente de 20 ppm) o el análisis químico con medición electrométrica (igual o similar al Analyzer L2000 DX®).
2. Todos los equipos que entreguen a los clientes una vez culminado el servicio de mantenimiento deberán contar con un certificado de descarte de PCB al menos con los procedimientos antes mencionados.
 3. En caso de tratarse de equipos que contengan una concentración mayor de 50 ppm de PCB se deberá tener en cuenta las siguientes medidas:
 - Los trabajadores deberán realizar las reparaciones haciendo uso de los EPP recomendados en el presente documento, de preferencia descartables. En caso contrario estos accesorios serán almacenados luego de ser limpiados con solventes en un lugar especial del almacén de equipos y materiales contaminados con PCB¹²
 - Los trabajos deberán ser realizados con herramientas, bandejas y equipos específicos para PCB, es decir, que la empresa deberá contar con un kit de herramientas para trabajos con PCB, las mismas que deberán ser limpiadas aplicando el triple enjuague de las superficies contaminadas con un disolvente como keroseno para eliminar todo PCB residual
 4. La zona de reparación de equipos con PCB deberán contar con un sistema colectora de fugas y derrames de aceite y una poza de seguridad para contener al menos el 110% del volumen de aceite dieléctrico en caso de producirse una falla o derrame del fluido, esta poza deberá ser cubierta con plancha metálica o geo-membrana para evitar la contaminación del concreto con PCB.
 5. Se debe contar con un kit completo de control de derrames, incendios y emergencias médicas.
 6. Contar con un Plan de Contingencias específico para accidentes con sustancias y materiales con PCB.
 7. Las superficies del taller para equipos con PCB deberán contar con revestimiento de geo-membrana u otro material de protección (pintura, uretano o resina epóxica) para evitar la contaminación de las superficies de la construcción con PCB.
 8. Durante las actividades de mantenimiento será necesario la utilización de bombas, sistemas de tuberías y cilindros especiales que no se utilicen para otros fines para trasvasar los desechos líquidos.
 9. Después de las actividades de mantenimiento o maniobra de campo, se deberá asegurar la limpieza de todo líquido derramado con paños, papel o absorbentes.
 10. Se deberá aplicar el triple enjuague de las superficies contaminadas con un disolvente como keroseno para eliminar todo PCB residual.

¹² La Empresa deberá disponer de un almacén debidamente acondicionado para equipos y elementos contaminados con PCB con concentraciones iguales o mayores de 50 ppm.

11. Se deberá almacenar adecuadamente (este almacenamiento debe cumplir con los requerimientos que están en la Ley General de Residuos Sólidos N° 27314 y su Reglamento DS N° 057-04-PCM) en espera de su tratamiento final de todos los absorbentes y solventes del triple enjuague, ropas de protección desechables y revestimientos plásticos como desechos que contengan PCB, o estén contaminados con ellos.

5.1.6.3 Precauciones generales para el manejo de equipos contaminados con PCB

Se deben tomar las siguientes precauciones en la manipulación de líquidos y materiales contaminados con PCB:

1. Verificar de que el área de trabajo tenga buena ventilación, si esto no es así especialmente en casos de subestaciones de caseta o subterráneas se deberá utilizarán ventiladores portátiles que serán instalados a nivel del piso.
2. Los síntomas por exposición de las personas a PCB son cloracné, irritación de los ojos, somnolencia, dolor de cabeza e irritación de la garganta. En caso de presentarse estos casos aplicar el Plan de Contingencias (acudir al médico).
3. No se debe permitir en ningún caso que el personal fume en el área donde se esté manipulando material con PCB.
4. En caso de derrame de PCB, debe contenerse con materiales absorbentes, que serán depositados en barriles de acero para su posterior eliminación autorizada. El personal encargado de derrames deberá tener en cuenta las siguientes precauciones de primeros auxilios:
 - Si ha habido contacto de los ojos con PCB, enjuagarlos de inmediato con abundante agua, al menos por 15 minutos y solicitar atención médica.
 - Si ha habido contacto de la piel con PCB, quitarse de inmediato toda la ropa contaminada y lavar la parte del cuerpo afectada con jabón y agua.
 - En caso de ingestión, enjuagarse la boca varias veces con agua limpia, tomar agua, y solicitar atención médica.
 - En caso de inhalación, retirarse a un área de aire fresco y acudir al médico.

5.1.7 Empresas de detección de PCB y laboratorios para el análisis de PCB

Para la detección y el inventario de los elementos que contengan PCB, se aplicarán procedimientos de análisis que deberán estar a cargo de empresas de detección y análisis de PCB (empresas especializadas con acreditación del Ministerio de Energía y Minas para la detección y laboratorios acreditados por INDECOPI para el caso de análisis químico).

Para el descarte y análisis de PCB se usarán los métodos reconocidos internacionalmente tales como US EPA SW-846 Method 9079 y Method 9078; así como la norma ASTM D4059-00-2005 y ASTM D6160-98 para el procedimiento específico de la determinación de la concentración de contenido de PCB por análisis de cromatografía de gases.

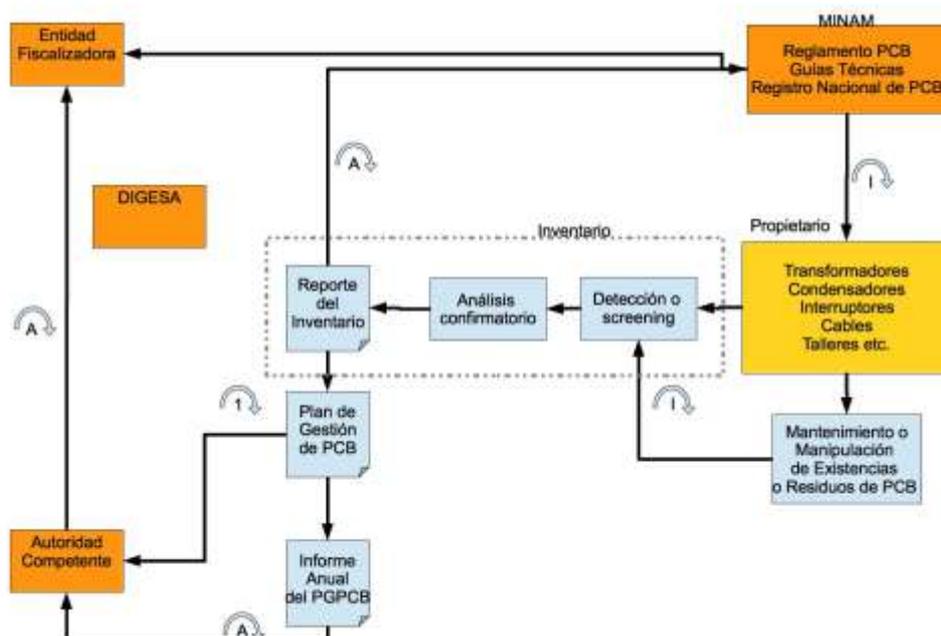
Para la obtención de muestras de PCB en superficies se utilizará las recomendaciones de USEPA 40 CFR 761.267 para superficies no porosas y 40 CFR 761.265 para superficies porosas (absorbentes).

Los análisis químicos se realizarán en laboratorios acreditados ante INDECOPI, con metodologías y procedimientos certificados para PCB. Adicionalmente es necesario que los laboratorios hayan participado en el inter-laboratorio que realizará DIGESA por ser el Laboratorio Referente del Estado Peruano.

5.1.8 Empresas de servicio de tratamiento y disposición final de PCB.

Las empresas de servicio de tratamiento y disposición final de PCB están constituidas por dos tipos de ellas que se diferencian por el método que se utilizará para la eliminación de PCB. Para el caso de tratamiento de PCB, se trata de empresas que utilizarán procesos tecnológicos de declorinación, estas empresas para realizar este proceso podrá establecer una planta de declorinación fija o in situ, para ambos casos se requerirá de una instrumento ambiental que asegure que todas las actividades que se realicen se ejecuten sin poner en riesgo la salud de los pobladores y el medio ambiente.

En la figura que se muestra a continuación, se podrá ver el esquema que grafica lo descrito anteriormente.



A: Periodicidad Anual, 1: Se ejecuta una sola vez

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 7: Estrategia para el control y eliminación de PCB

5.1.9 Marco Normativo

Dentro del marco normativo lo más importante es contar con una norma legislativa que permita regular y controlar la gestión de los PCB por parte de los propietarios a lo largo de su ciclo de vida. Esta norma deberá ser de un nivel jerárquico equivalente a un Decreto Supremo que tenga un alcance multisectorial ya que los PCB se pueden encontrar en equipos y residuos que se utilizan tanto en el sector energético (eléctrico principalmente), minero, Industrial, pesquero, etc.

El título que puede llevar esta herramienta legislativa puede ser “REGLAMENTO PARA LA GESTIÓN Y MANEJO DE BIFENILOS POLICLORADOS” y al menos debe contener:

- Fijar los Concentración Máxima Permitida

Disposiciones generales

Fijar el ámbito de aplicación y las definiciones para una comprensión e interpretación correcta de su contenido, tales como:

- Acondicionamiento.- Todo método que permita dar cierta condición a las existencias y residuos con PCB para un manejo seguro según su destino para tratamiento o disposición final.
- Almacenamiento.- Operación de acumulación temporal de existencias o residuos con PCB en condiciones técnicas requeridas hasta su tratamiento o disposición final.
- Bifenilos policlorados (PCB).- Compuestos aromáticos formados de tal manera que los átomos de hidrógeno en la molécula bifenilo (2 anillos bencénicos unidos entre sí por un enlace único carbono-carbono) pueden ser sustituidos por hasta 10 átomos de cloro.
- Declorinación.- Sustitución selectiva de los átomos de cloro de las moléculas de PCB, para asegurar su eliminación y por tanto sus características adversas.
- Descarte de PCB.- procedimiento para identificar presencia de PCB por métodos colorimétrico o por medición electroquímica en líquidos, suelos o superficies.
- Disposición final.- Procesos u operaciones para tratar o disponer en un lugar los residuos que consisten, contienen o están contaminados con PCB como última etapa de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura.
- Eliminación ambientalmente racional.- Conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante las cuales se modifican las características de las existencias o residuos con PCB, teniendo en cuenta el riesgo y grado de peligrosidad de los mismos, para incrementar sus posibilidades de aprovechamiento y/o valorización o para minimizar los riesgos para la salud humana y el ambiente
- Gestión ambientalmente racional.- Conjunto articulado de acciones técnicas, financieras, administrativas, educativas y de planeación, relacionadas con la adquisición, identificación, manipulación, almacenamiento y transporte, seguimiento y monitoreo, incluyendo las etapas de uso y fin de la vida útil de

las existencias y residuos con el fin de prevenir su contaminación con PCB, así como su manejo y eliminación ambientalmente racional, enmarcadas en principios de prevención, precaución y minimización de riesgos, así como de eficiencia técnica y económica.

- Existencia: Equipos, componentes o infraestructuras utilizados directa o indirectamente en una actividad antrópica posible de contener PCB.
- Existencia y residuo contaminado con PCB.- Aquellos que contienen o están contaminados con PCB en una concentración mayor o igual a 2 ppm.
- Existencia y residuos con PCB.- Equipos o contenedores que consisten en PCB puro.
- Existencia libre de PCB: Aquellos que no presentan PCB o su concentración es menor a 2 ppm.
- Existencia o Residuo tratado: aquella que como resultado de operaciones o procesos de eliminación ambientalmente racional contiene PCB por debajo de la concentración permitida.
- Incineración.- Método de tratamiento de residuos PCB que consiste en la oxidación química para su combustión en instalaciones autorizadas.
- Concentración permitida de PCB.- menor a 50 ppm en aceites dieléctricos o menor a 10 µg/100 cm² para superficies no porosas.
- Plan de Gestión de PCB.- Conjunto de actividades destinadas a la eliminación ambientalmente racional de existencias o residuos con PCB, dentro del plazo establecido en el presente Reglamento.
- ppm.- Partes por millón (10⁻⁶); concentración: mg/kg. Equivalencia: 1 ppm = 0,0001%
- Propietario de PCB.- Persona natural o jurídica propietaria o poseedora de existencias y residuos que consisten, contienen o están contaminados con PCB.

Autoridades competentes y funciones

Se deberá identificar a las Autoridades Competentes y describir sus funciones en el marco del control y eliminación de los PCB.

Responsabilidad de los propietarios de PCB

Elaborar un Inventario y Reporte de existencias y residuos con PCB especificando lo siguiente:

- Se deberá establecer las pautas más importantes para el desarrollo del inventario, principalmente referido al plazo de ejecución, que no deberá ser más de 2 años.
- Fijar y establecer la obligación de reportar el inventario actualizándolo anualmente ante el Ministerio del Ambiente y por ende al Registro Nacional del PCB que se describió anteriormente.

Se deberá establecer la obligación de elaborar el Plan de Gestión de PCB de cada empresa que deberá ser aprobado por su Autoridad Competente, reportar

anualmente su avance y cumplimiento. Este Plan de Gestión de PCB, que debe contener al menos lo siguiente:

1. Aspectos generales
2. Introducción
3. Identificación de existencias con PCB (Inventario)
4. Evaluación de riesgos para la toma de decisiones
5. Medidas preventivas en sistemas con PCB
6. Almacenamiento y Transporte de existencias contaminadas con PCB
7. Tratamiento y eliminación de PCB
8. Actividades de capacitación, difusión y medidas de respuesta a accidentes ambientales con PCB
9. Asignación de responsabilidades
10. Indicadores de Gestión de PCB
11. Cronograma de actividades y presupuesto

Medidas de Control y la fiscalización ambiental

Establecer el plazo para eliminación de PCB que no deberá ser mayor al año 2025 para cumplir con los compromisos con el Convenio de Estocolmo.

Establecer las condiciones mínimas aceptables para la Eliminación Ambientalmente Racional de los PCB

Fijar las Prohibiciones y excepciones especificando:

- Establecer las condiciones de exportación de residuos con PCB así como la importación de PCB
- Establecer expresamente la dilución de aceite con PCB, hecho que se está produciendo de manera advertida o inadvertida de acuerdo a lo mencionado en el capítulo del Diagnóstico
- Establecer las condiciones bajo las cuales es permitido realizar la transferencia de chatarra y residuos con PCB.

Establecer las pautas bajo las cuales el Estado ejerza la fiscalización de la normas con las medidas que se han recomendado en el acápite correspondiente de esta tesis.

Manejo ambientalmente racional de existencias o residuos con PCB

Se deberá elaborar una Guía para la Gestión Ambientalmente Racional de PCB, que regule la operación durante el uso, mantenimiento, almacenamiento y transporte de los equipos o existencias y en la generación, acondicionamiento, recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos con PCB.

Esta norma además, deberá establecer las pautas para el muestreo y determinación de concentración de PCB, bajo las prácticas más adecuadas para el medio ambiente y la seguridad personal tales como:

- Se deberá también exigir el uso y aplicación de una etiqueta que distinga a las existencias con PCB.
- Exigir el uso y aplicación de una etiqueta que distinga a las existencias descontaminadas de PCB.
- Exigir el uso y aplicación de una etiqueta que distinga a las existencias sin PCB.
- Establecer pautas para el mantenimiento de existencias con PCB.
- Establecer las pautas bajo las cuales es posible realizar el almacenamiento de elementos con PCB.
- Establecer las condiciones mínimas de seguridad para el transporte de existencias con PCB.

Contar con un Plan de Contingencia y exigir la incorporación de las medidas de respuesta ante situaciones de emergencia en casos de accidentes.

Establecer el tratamiento y disposición final de con PCB

Para efectos de este instrumento legal se deberá establecer un mecanismo efectivo que facilite la eliminación de PCB, esto se puede hacer mediante las dos modalidades que se describirá detalladamente más adelante pero que se puede resumir en:

- Tratamiento de dechlorinación de aceite dieléctrico y carcasa de transformadores, que consiste en la eliminación de los PCB mediante la reacción química para extraer los átomos de cloro (incorporados durante el proceso de fabricación de PCB) de las moléculas de hidrocarburos. Esta operación se puede realizar en plantas fijas o plantas móviles que son trasladadas al lugar donde se encuentra los equipos a ser tratados.
- Incineración de PCB, que consiste en la eliminación de PCB a través de la combustión controlada de los elementos contaminados con PCB, este proceso se realiza en locaciones especialmente construidos para este fin y están disponibles en algunos países como son Francia, Alemania, Finlandia, etc. Más adelante se desarrollara este proceso con más detenimiento.

Tener en cuenta las medidas de Seguridad e Higiene Ocupacional en el Manejo de PCB

Se deberá establecer medidas básicas y mínimas para la protección laboral y Equipos de Protección Personal en salvaguarda de las personas y el medio ambiente.

Establecer un programa mínimo de capacitación y protección del personal en el manejo seguro de PCB.

Información, sensibilización y acceso a la información

La norma deberá establecer también la necesidad de la información y difusión de este tema entre la sociedad, otorgando las medidas de protección y medidas de respuesta a condiciones de emergencia o riesgo.

Disposiciones complementarias, transitorias y finales

Se deberá considerar unas disposiciones complementarias, transitorias y finales conteniendo al menos lo siguiente:

- Establecer el plazo para hacer el inventario (que debería ser al menos de 24 meses)
- Fijar el plazo para elaborar el Plan de Gestión de PCB (que debería ser de máximo 6 meses a partir de la entrega del inventario)
- Fijar el plazo para aprobación de plan en 30 días

5.2 Identificación e inventario de PCB

Para llevar a cabo el inventario de PCB se debe tener en principio el objetivo que tiene la actividad de realizar el inventario:

- Identificar a los propietarios de PCB, los equipos que lo contienen y las cantidades existentes de PCB.
- Asegurar que los equipos que contienen PCB puedan ser manejados ambientalmente hasta su disposición final, sea tratamiento (p.e. de clorinación química) o eliminación (p.e. incineración)

En este sentido las fases que se deben llevar a cabo para este fin son:

1. Descarte de PCB
2. Elaboración de la Base de Datos de las existencias de PCB
3. Análisis confirmatorio de PCB
4. Elaboración del reporte de Inventario y documentación referente

Antes de ir a desarrollar cada una de estas fases, a continuación se describe brevemente dos tipos de equipos que generalmente contienen PCB como son los transformadores y condensadores ya que el 90% de PCB han sido utilizados en este tipo de equipos

5.2.1 Equipos que pueden contener PCB

5.2.1.1 Transformadores

Los transformadores son equipos que operan bajo el principio de inducción electromagnética, con el cual se puede aumentar o disminuir el nivel de voltaje de una corriente eléctrica. El diseño de los transformadores debe responder a las necesidades de energía requerida, así como al lugar donde han de ubicarse. De

esta manera se pueden tener transformadores muy grandes, si se utilizan para grandes voltajes y corrientes, o relativamente pequeños, si se ubican en la última etapa de la cadena de abastecimiento de energía.

Por lo general, la estructura típica de un transformador incluye las partes que se muestran en la figura siguiente:

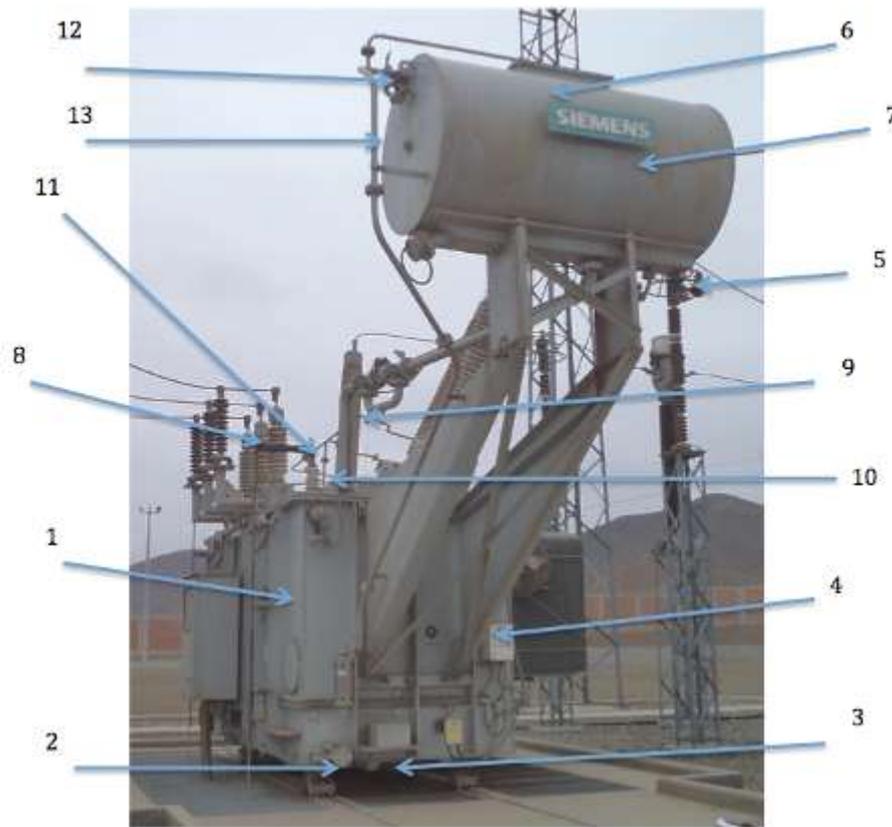


Foto: Mario Mendoza, 2012

1: Sistema de enfriamiento (comúnmente llamado radiadores o aletas), 2: Válvula (drenaje), 3: Válvula de muestreo de aceite, 4: Placa con los datos del fabricante, 5: Termómetro, 6: Válvula del Conservador, 7: Conservador, 8: Buje de baja tensión, 9: Buje de alta tensión, 10: Dispositivo de alivio de presión, 11: Boca de la cobertura –agujero principal, 12: Válvula de seguridad, 13: Medidor del nivel de aceite.

Figura Nº 8: Estructura de un Transformador

Esta estructura observada en la figura, constituye el sostén que es conocido como la cuba metálica en cuyo interior contiene, como elementos claves para su funcionamiento, un núcleo de acero magnético (láminas ensambladas), y bobinas de cobre, cubiertas con una capa aislante de resina o papel; separadores de madera de diversas formas (son porosos y pueden absorber el aceite dieléctrico) y aceite dieléctrico.

El diseño de todo transformador siempre tomará en cuenta el hecho de que su funcionamiento genera calor y que este calor debe ser expulsado para evitar el calentamiento de todo el equipo, que provocaría una disminución de su eficiencia eléctrica, aumentando posiblemente el riesgo de sobrecalentamiento y, con ello, el peligro de incendio.

5.2.1.2 Condensadores o capacitadores

Los condensadores, también denominados capacitores (por la inadecuada traducción del término inglés capacitor), son equipos que pueden acumular y mantener una carga eléctrica. Un condensador se compone principalmente de placas conductoras de electricidad (láminas metálicas delgadas) separadas por un material dieléctrico, es decir, no conductor. Estas placas son bobinas de láminas metálicas. Hay dos bobinas de láminas metálicas que están separadas eléctricamente, y cada una tiene contactos que salen del condensador. El material dieléctrico suele ser un fluido dieléctrico que puede o no contener PCB. La siguiente figura muestra un condensador típico:



Foto: Mario Mendoza

Figura N° 9: Banco de condensadores de alta tensión

Una forma efectiva de reconocer si un condensador puede contener PCB es verificar su marca, modelo y designaciones características que identifican estos equipos, las mismas que pueden consultarse en el Anexo N° 4: Condensadores que pueden contener PCB. Luego de esta verificación se definirá su manejo adecuado y seguro.

5.2.2 Detección de PCB

Para el descarte o detección de PCB se tiene principalmente dos procedimientos extensamente utilizados: Detección de PCB con los kits Clor-N-Oil de 50 ppm, y el Analizador L2000DX, ambos de la compañía Dexsil®, empresa norteamericana que ha desarrollado tecnología para detección de PCB en aceite dieléctrico, agua, suelos y superficies no porosas.

Como métodos de ensayo de campo rápido, y con fines únicamente de detectar presencia o ausencia de PCB en altas concentraciones, se pueden nombrar los ensayos de densidad y el Test de Belstein para compuestos orgánicos clorados. Sin embargo, no se recomienda su uso en el marco de un programa de Gestión Ambientalmente Racional (GAR) de PCB y no deberían utilizarse con fines de inventario.

Densidad: La forma más sencilla de determinar si una muestra de aceite contiene PCB puro lo constituye la determinación de la densidad relativa del agua y el aceite. Como ambos líquidos no son miscibles, si mezclamos agua y el aceite a investigar, y este queda en el fondo, podemos inferir que la muestra contiene alta

concentración de PCB (densidad relativa de PCB es 1,5 contra 0,85 a 0,9 de los aceites y 1 en el caso del agua). Caso contrario, podría tratarse de aceite mineral contaminado. En ambos casos se requerirá la confirmación del resultado por métodos más precisos.

Método de Belstein: Consiste en quemar en llama un trozo de alambre de cobre humedecido con el aceite a ensayar. Si la llama toma un color verdoso o azul verdoso indica la presencia de cloro en el aceite, infiriendo la posible presencia de PCB.

Este ensayo es riesgoso por la formación de dioxinas debido a las temperaturas de combustión, siendo necesario desarrollarlo bajo campana de extracción y con la supervisión de un químico experimentado.

5.2.3 Análisis de PCB

El análisis se refiere a todas las operaciones fisicoquímicas necesarias para la obtención de resultados de la concentración de PCB con efectos de confirmen los resultados de la etapa de detección y tener un valor de concentración suficientemente precisa para la toma de decisiones en la etapa de su eliminación. Este procedimiento se realiza a través de un cromatógrafo de gases.

Por lo general, resulta conveniente que el análisis de PCB se lleve adelante en un laboratorio especializado o con experiencia analítica en este tipo de compuestos.

Para los análisis de laboratorio de PCB no existe un solo método analítico. La International Standardization Organization - ISO (Asociación Internacional de Estandarización), el Comité Europeo de Normalización, la EPA y la ASTM han desarrollado métodos para analizar las diversas matrices para PCB. Por otro lado, el PCB puede encontrarse en diferentes matrices que presentan métodos de extracción, separación, concentración y/o purificación distintos. Es necesario que los laboratorios evalúen los Límites de Detección (Limit of Detection-LOD) y porcentajes de recuperación (%R) para verificar la validez de los métodos desarrollados.

En el Anexo N° 6 se citan los métodos de análisis más aplicables para determinación de PCB en diferentes matrices, además de los LOD y porcentajes teóricos. Además, se deberán seleccionar procedimientos y criterios de aceptación para la manipulación y la preparación de muestras de laboratorio, que se incorporan dentro de la metodología analítica de referencia.

5.2.4 Muestreo

A continuación se desarrollará los procedimientos que se pueden aplicar para las actividades de muestreo en las matrices más comunes (aceite dieléctrico, suelos, agua y superficies), para la detección de PCB (mediante procedimientos del Clor-N-Oil® de 50 ppm y el Analyzer L2000DX®) y el análisis correspondiente mediante la cromatografía de gases.

5.2.4.1 Metodología de Muestreo en aceite dieléctrico

El procedimiento para realizar el muestreo de equipos que contienen aceite dieléctrico se deberá realizar teniendo en cuenta normas internacionales (como ASTM D 923, ASTM D 6160, ASTM D 3613, IEC 61619, EPA 9079, EPA 8082)

Para llevar a cabo el muestreo de aceite dieléctrico se deberá seguir el procedimiento que se adjunta en el Anexo N°7: Muestreo. Este procedimiento requiere que se cuente con:

- Materiales y Equipos necesario para la toma de las muestras
- Equipos de protección personal para el cuerpo, vista, ojos, etc.

La toma de muestras en resumen se trata de extraer aceite dieléctrico de transformadores de manera segura y protegiendo al trabajador. Esta muestra es colectada en un frasco de vidrio que deberá ser debidamente etiquetado y registrado elaborándose la cadena de custodia respectiva.

5.2.4.2 Embalaje conservación y transporte de muestras

Las muestras deben llegar al laboratorio conservando sus etiquetas, bien embaladas y sin daños físicos. Acompañando a las muestras se deberá enviar la información y código de muestras que deberán ser utilizadas por el laboratorio para el reporte de muestras. El documento deberá contener específicamente la siguiente sentencia: “Esta organización es responsable de la calidad de la muestra enviada y acepta que la(s) muestra(s) cumple con los requerimientos estipulados por el Laboratorio”.

Para la conservación de las muestras se debe tener presente:

- Evitar la exposición directa del sol con el frasco conteniendo la muestra
- Evitar el contacto directo de la piel con la muestra.
- No tratar de sellar el frasco de la muestra con cinta adhesiva ya que el aceite desprende la goma y esta puede ocasionar la contaminación de la muestra.
- Ningún material es cien por ciento impermeable a los PCB. Por eso es preciso prever la sustitución periódica de todo el EPP.
- Las muestras deben ser tomadas por personal capacitado
- Tener en cuenta que: los PCB se adhieren a cualquier medio con el que entren en contacto, bien sea una manguera, un frasco, un contenedor, un equipo de protección personal o un guante. Por lo anterior, cualquier medio que entre en contacto con aceite potencialmente contaminado o sin la identificación respectiva por la presencia de PCB, debe considerarse como “residuo de PCB” hasta que no se demuestre lo contrario y debe manejarse como tal. En caso de uso de herramientas de apertura de equipos, deben tomarse las precauciones para evitar el contacto de estos con el líquido, y cuando se produce el contacto mencionado, las herramientas deben ser descontaminadas por medio de lavado ó limpieza con un solvente (como el percloroetileno).

5.2.5 Detección y Análisis de PCB

5.2.5.1 Detección de PCB con método colorimétrico

Esta metodología es reconocida como EPA-SW-846 Method 9079 Screening Test Method For Polychlorinated Biphenyls in Transformer Oil y consiste en someter a la muestra de aceite a reaccionar con una mezcla de sodio metálico catalizado con naftaleno y dimetilglioxima a temperatura ambiente. Este proceso permite obtener haluros que son extraídos en un buffer acuoso donde se le adiciona una cantidad previamente medida de nitrato de mercurio y difenilcarbazona como indicador.

Materiales y Equipos

- Kit Clor-N-Oil 50 de la compañía Dexsil.
- Mameluco de protección personal Tyvek.
- Máscara de protección con filtro para gases orgánicos.
- Guantes de nitrilo (Ansell Edmont 37-185 o similar).
- Lentes de protección.
- Bolsas de plástico negro para residuos de waype o trapos con aceite dieléctrico.

Este método cualitativo se basa en el uso de los kits CLOR -N- OIL® de la compañía Dexsil Corporation® de 50 ppm, existentes también en las versiones de 20 y 500 ppm, según el límite de detección requerido por el interesado.

Los métodos químico-colorimétricos o electroquímicos para la detección o medición de PCB son basados en el análisis de los elementos clorados presentes en la muestra. Debido a que los PCB contiene cloro, una ausencia de clorados asegura que la sustancia no contiene PCB.

Por otro lado, la presencia de cloruros en la muestra no necesariamente significa que se trate de una sustancia contaminada con PCB ya que podría tratarse de otra fuente de elementos clorados (como ambientes salinos, pinturas, etc.). Sin embargo, en la industria eléctrica es sumamente improbable que en el fluido utilizado en los transformadores se encuentren clorados si no es por presencia de PCB, por lo tanto se puede asegurar que estos métodos son adecuados para detectar PCB.



Fuente: Dexsil ®

Figura N° 10: Uso de Clor-N-Soil para suelos

Por otro lado, cuando se trata de residuos e instalaciones, es más difícil asegurar que no existen otras fuentes de cloruros, por lo que durante el análisis es probable que se obtengan falsos positivos.

La preparación de las muestras se realiza mediante reacciones químicas y se provoca la reacción de PCB con un reactivo metálico de sodio para quitar los cloruros de la molécula de PCB. Los iones del cloruro que resultan luego se extraen en una solución acuosa que pueden ser medidos fácilmente.

Esta metodología consiste en que la muestra de aceite se hace reaccionar con una mezcla de sodio metálico catalizado con naftaleno y dimetilglioxima a temperatura ambiente. Este proceso convierte todos los halógenos orgánicos a sus respectivos haluros de sodio, estos haluros son extraídos en un buffer acuoso, se le adiciona una cantidad previamente medida de nitrato de mercurio, que atrae los iones de cloro que puedan estar presentes en la mezcla. Si quedan iones libres de mercurio, lo que significa que son más que los iones de cloro, la sustancia toma un color púrpura o lila cuando se le añade una pequeña cantidad de diphenyl carbazone. Esto significa que la presencia de PCB en la muestra es menor que el límite fijado por el kit (que puede ser, 20, 50 ó 500 ppm). Si la cantidad de iones libres de mercurio son menores y por lo tanto se encuentran iones libres de cloro, la mezcla toma una coloración amarillenta a clara, lo que significa que la muestra contienen una concentración de PCB mayores al límite fijado por el kit que se está utilizando.

En el Anexo N° 8: se adjunta el Procedimiento para el uso del Kit Clor-N-Oil®

5.2.5.2 Proceso de detección de PCB con determinación electrométrica

Este método consiste en que la muestra de aceite se hace reaccionar con una mezcla de sodio metálico catalizado con naftaleno y dimetilglioxima a temperatura

ambiente. Este proceso convierte todos los halógenos orgánicos a sus respectivos haluros de sodio, estos haluros son extraídos en un buffer acuoso. Hasta aquí no hay diferencia con el método antes descrito. En este caso se utiliza el Analyzer L2000DX desarrollado por la empresa Dexsil® el cual con el uso de un electrodo que se introduce en el buffer acuoso se realiza la medición de la concentración de los iones de cloro que realizando las conversiones respectivas se calcula la concentración de PCB en la muestra. La descripción detallada de esta metodología en versión española desarrollada por la empresa Minpetel S.A. se alcanza en el Anexo N° 9.

5.2.5.3 Metodologías de Laboratorio

Para la determinación analítica de las concentraciones de PCB en aceites dieléctricos existen diversas metodologías:

- Metodología con cromatografía gaseosa y captura electrónica
- Metodología con cromatografía gaseosa con espectrografía de masas

Muchos de los estándares que se utilizan en el mundo para la determinación de concentraciones de PCB se basan en alguna de estas metodologías.

Para la determinación de la concentración de PCB en aceites dieléctricos se propone llevar a cabo procedimientos basados en las especificaciones de las normas ASTM D1809-63 para el procedimiento específico de extracción de la muestra y de la norma ASTM D4059-00 para el procedimiento específico de la determinación de la concentración de PCB. Como referencia se describirá la metodología con cromatografía gaseosa y captura electrónica.

Metodología con Cromatografía Gaseosa y Captura Electrónica (basado en ASTM D 4059-00)

La muestra conteniendo el aceite con PCB es diluida en un solvente apropiado y la solución resultante es tratada con un procedimiento para remover otras sustancias químicas orgánicas presentes, después de lo cual una porción pequeña de esta solución resultante es inyectada a la columna del cromatógrafo de gas. La cromatografía de gas vaporiza la muestra y los componentes son separados en el momento que ellos pasan a través de dicha columna con el gas portador. La presencia de los mismos en el efluente es medida por un detector de captura de electrones (electron capture-EC detector) produciendo una señal proporcional a la cantidad de cada sustancia presente en la muestra y registrado como un cromatograma. El detector de captura electrónica es muy sensible a la presencia de sustancias químicas cloradas y en general se utiliza para el análisis de PCB ya que no responde a las sustancias químicas no cloradas que también puedan estar presentes.

El método de testeo es un método cuantitativo que compara los resultados del cromatograma con el cromatograma de una cantidad conocida de una o más Arocloros estándares, obtenida bajo las mismas condiciones analíticas.



Fuente: Cromatógrafo de gases Varian 3300 del Museo Nacional de Ciencias Naturales Madrid (<http://www.mncn.csic.es>)

Figura N° 11: Cromatógrafo de gas y captura electrónica

Significado y Uso

Los resultados de esta técnica analítica se utilizan para seleccionar el manejo apropiado de los equipos conteniendo aceites dieléctricos con PCB y también para los procedimientos de disposición final de residuos con PCB.

La cuantificación de esta técnica requiere una comparación pico-a-pico de los resultados del cromatograma de la muestra desconocida con el test del Aroclor estándar obtenido bajo idénticas condiciones.

Diferentes isómeros de PCB con el mismo número de sustituyentes de cloro pueden causar sustancialmente diferentes respuestas del detector de captura de electrones (electron capture-EC detector), lo cual se tendrá en cuenta en los resultados.

Interferencias en los resultados

El detector de captura de electrones responde a otros compuestos conteniendo cloro y a ciertos otros materiales electrofílicos (afines a los electrones), tales como los halógenos, nitrógenos, oxígeno y sulfuros. Estos materiales pueden generar picos con periodos de retención comparables a aquellos de los PCB. Las más comunes interferencias serán removidas por el tratamiento de pre-análisis del presente método, el cromatograma de cada muestra analizada debiera ser cuidadosamente comparada con aquellas de los estándares.

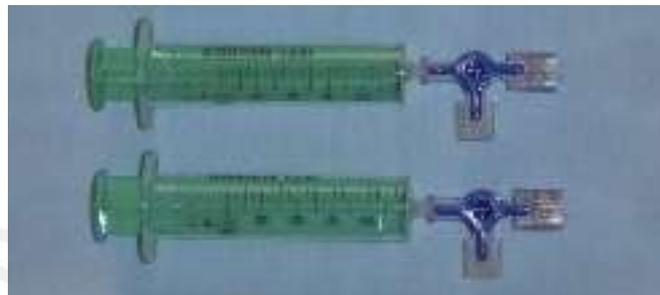
La sensibilidad del detector de captura de electrones (EC detector) se reduce por la presencia de aceite mineral. Diluciones estándar y los volúmenes de inyección a la columna debieran ser cuidadosamente escogidos en este método para evitar la interferencia de la presencia del aceite mineral.

La sensibilidad del detector de captura de electrones (EC detector) no es afectada significativamente por los líquidos siliconados.

Equipos de monitoreo e instrumentación

B.1 Para el procedimiento de Muestreo basado en el estándar ASTM D923-97

- Juego de jeringas de tres vías en capacidades de 20, 30, 50 y 100 ml.
- Juego de envases de acero (tin plated steel cans)
- Cilindros de acero inoxidable



Fuente: www.eccpn.aibarra.org

Figura N° 12: Jeringa de tres vías

B.2 Para la determinación de la concentración de PCB según procedimiento basado en el estándar ASTM D 4059-00

Una vez obtenida la muestra según procedimiento estándar, ésta es analizada en el laboratorio para determinar la concentración de PCB utilizando instrumentos apropiados.

Los instrumentos a utilizar bajo este estándar son los siguientes:

- Se utiliza un cromatógrafo de gases equipado con un control de temperatura del horno con una exactitud de 1°C y con una entrada para la inyección de calor.



Fuente: www.sencamer.gob.ve.

Figura N° 13: Laboratorio de CG

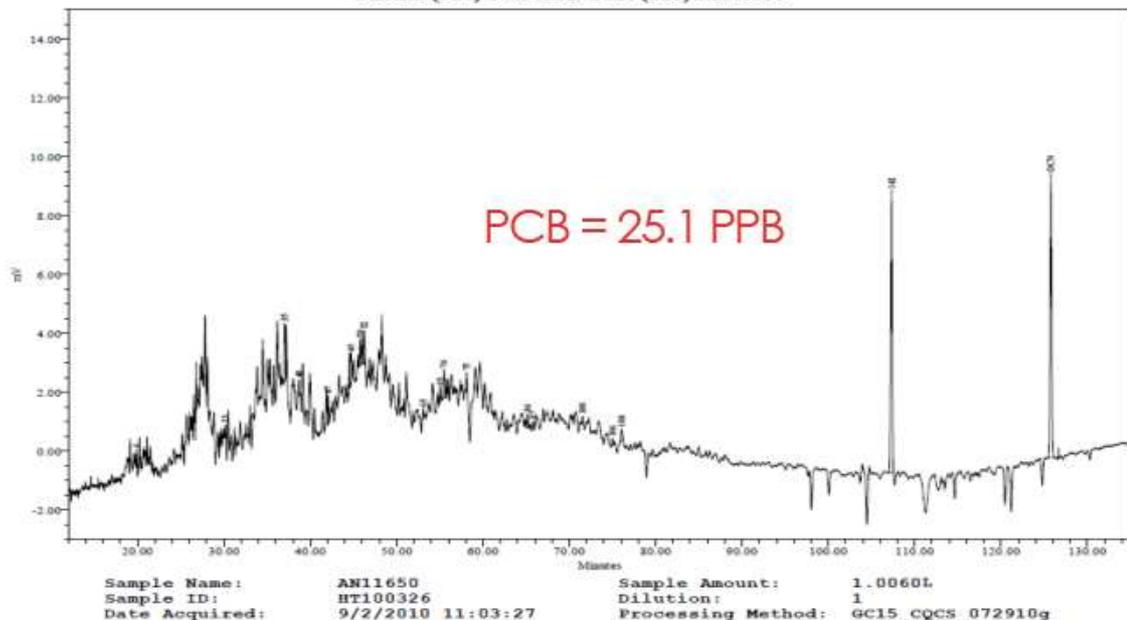


Fuente: <http://www.sandegroup.com/english/SDTGA100.asp>

Figura N° 14: Horno de precisión para laboratorio

- Medio para registrar el cromatograma, tal como un registrador de carta circular o continuo, preferible acoplado a un integrador digital para determinar valores pico. Un inyector automático de muestras puede ser usado.

Chromatogram Report Comprehensive Quantitative Congener Specific PCB
Northeast Analytical, Inc., 2190 Technology Drive, Schenectady, NY 12308
Phone: (518) 346-4592 Fax: (518) 381-6055



Fuente: [www. http://omega3consumohumano.com.mx/](http://omega3consumohumano.com.mx/)

Figura N° 15: Obtención de resultados con CG

- Inyector, construido en acero inoxidable y equipado con adaptadores apropiados para permitir el uso de columnas de inyección directas, columnas de inyección empacadas, o inyecciones por capilaridad divididas o sin división. Todas las superficies de metal debieran estar forradas en vidrio.
- Una columna capilar tipo mega-bore (múltiples agujeros) puede ser efectivamente utilizada en el tipo de columnas empacadas reemplazando el forro estándar con un forro capilar ahusado.
- Detector, que comprende un detector de captura de electrones (electrón capture-EC detector) de níquel para alta temperatura con suficiente

sensibilidad para permitir el registrar la deflexión al 50% de la escala completa de medición (full-scale) con una muestra conteniendo 0,6 ng o menos de ácido fosforotioico o-(2-chloro-4-nitrophenyl) o, o-dimethylester (“dicaphton”). El detector debe ser operado dentro del rango de respuesta lineal y el nivel de ruido debiera ser menor que el 2% de la escala completa.

Nota: Otros detectores también pueden ser usados.

- Columna, fabricada en vidrio o sílice fundido empacada con materiales apropiados. Una precolumna puede ser usada para extender la vida útil de la columna analítica . Columnas de 1,83m de largo, 6,35mm de diámetro exterior, 2 a 4 mm de diámetro interior empacadas con vidrio con 3% en 80 a 100 malla Chromosorb® se ha encontrado que son muy útiles.
- Frascos y Pipetas volumétricas, apropiadas para ser diluciones.
- Jeringas de precisión de vidrio, graduadas a 0,1 µL.
- Ampolletas de vidrio con tapas de aluminio forradas con PTFE.
- Balanza Analítica o Hidrómetro, con capacidad de medir densidades de aproximadamente 0,9 g/mL.

Algunos criterios para la selección de los equipos de ensayo

Es necesario conocer los rangos de detección (ppm) de cada equipo y de la metodología aplicada. Se tienen las siguientes alternativas dependiendo de la naturaleza de la medición y su alcance (spot, etc.).

Alguno de los equipos disponibles en el mercado son: HP 5890-Perú (detector muy fino); Perkins Elmer clubus 500

Para el análisis de concentración de PCB en aceites dieléctricos se tienen algunas referencias de precios :

- El análisis cromatográfico cuesta aproximadamente: 150 US\$ / muestra . Debiendo agregarse los costos de envío al extranjero de aproximadamente 7 US\$/ kg
- Hasta la fecha se ha venido realizando en laboratorios extranjeros (Canadá, España, Inglaterra). Se espera que una vez que se ponga en marcha la estrategia como producto de este trabajo de investigación, se puedan acreditar laboratorios en nuestro país para realizar este tipo de análisis, en base a procedimientos basados en estándares reconocidos.

5.2.5.4 Metodología de análisis de PCB en superficies

Se utilizará procedimientos basados en el estándar USEPA 40 CFR Part 761 para el procedimiento muestral de las superficies y el USEPA SW-846 8082 Method para el análisis de la muestra en el cromatógrafo de gases.

Hay un procedimiento para medición de concentraciones de PCB en superficies no porosas y otro procedimiento para superficies porosas.

Superficies no porosas

Este método de medición en superficies (Wipe Test) se realiza para componentes como barras de cobre, estructuras y tanques de acero.

Procedimiento:

1. Preparar el material absorbente (algodón o gasa) y realizar una extracción con solvente (soxhlet) para remover cualquier compuesto que interfiera con la medición. El procedimiento soxhlet se realiza con extracción mediante repetidas limpiezas (percolación) con un solvente orgánico.
2. Escoger un solvente de alta pureza como el hexano, heptano, o isooctano que está libre de interferencias para operar con el cromatógrafo de gases.
3. Preparar un envase de vidrio o vaso de precipitado, para recolectar los lavados del solvente.
4. El vaso de precipitado debe tener una tapa resistente a los solventes preferible de metal o PTFE.
5. Medir el área del material sólido al ser muestreado, y marcar el perímetro de dicha área con un lápiz o tiza. Se requiere un área 100 cm² (10 cm x 10 cm).
6. Mantener la porción en material absorbente con unas tenazas de metal (de laboratorio) o con guantes de Nitrilo. Remojar una porción del material absorbente en el solvente seleccionado y frotar la superficie de muestreo. Usar movimientos horizontales y verticales para asegurar que se cubra toda la superficie. Enjuagar el absorbente con un mínimo de solvente.
7. Repetir la frotación y el proceso de enjuague, reemplazar el absorbente cuando sea necesario hasta que no quede o permanezca trazas de aceite en el área de muestreo.
8. Colocar el algodón o la gasa usada para muestrear y sellarla.
9. Etiquetar el vaso de precipitación o envase de vidrio consignando el nombre del laboratorio para el análisis y seguir los procedimientos de custodia de muestras que consiste en el registro de las etapas que sigue la muestra desde su extracción hasta la elaboración del reporte de resultados incluyendo los responsables de cada etapa y localización física de la muestra.
10. Analizar el solvente recuperado para el contenido del PCB y calcular la concentración de PCB en µg/100 cm².

Superficies Porosas

Procedimiento:

1. Seleccionar una muestra del material poroso a ser analizado.- Aproximadamente se requieren 10 gramos de material. Si el material poroso ha sido tomado de un equipo que ha sido limpiado con solvente, entonces debe ser seleccionado el material que no está en contacto directo con el solvente.

2. Extraer el PCB vía soxhlet y analizar contenido de PCB.- El procedimiento soxhlet se realiza con extracción mediante repetidas limpiezas (percolación) con un solvente orgánico.
3. Expresar el resultado de la concentración de PCB como mg/kg (ppm) del material poroso.

5.2.5.5 Metodología de análisis de PCB en suelos

Se utilizarán procedimientos basados en el estándar USEPA SW-846 9078 Method (Screening Test Method for Polychlorinated Biphenyls in Soil)

Procedimiento:

1. Una muestra de suelo (tierra, arena, sedimentos, arcilla) a ser analizada se extrae utilizando un solvente basado en hidrocarburos. El resultado es filtrado para remover la humedad y las sales inorgánicas.
2. La muestra extraída seca se hace reaccionar con sodio metálico y un catalizador para despojar el cloro de cualquier contenido de PCB que puedan estar presentes.
3. Los iones de cloro resultantes son extraídos en una solución acuosa en la que son detectados utilizando un electrodo específico Ion-Cloro (Chloride ion specific electrode).

5.3 Transporte y almacenamiento de PCB

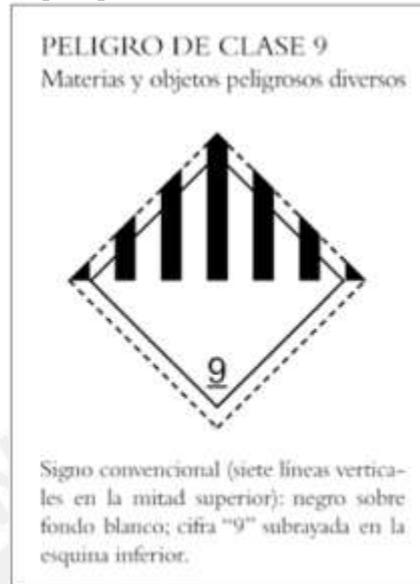
5.3.1 Transporte

Los equipos, materiales y desechos consistentes en PCB, que los contengan o estén contaminados con ellos, deberán transportarse de modo ambientalmente racional a fin de evitar derrames accidentales monitoreando adecuadamente su trayecto y conocer su destino final. Antes del transporte deberán prepararse planes de emergencia a fin de reducir al mínimo los efectos ambientales relacionados con derrames, incendios y otras emergencias que pudieran ocurrir en el trayecto. Durante el transporte, los desechos deberán identificarse, embalarse y transportarse con arreglo a las “Recomendaciones relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas: Reglamentación Modelo de las Naciones Unidas (Libro Naranja)” (UNECE, 2011). Las entidades que se encarguen del transporte de existencias con PCB deberán poseer la calificación, certificación, o ambas de transportistas de materiales y desechos peligrosos.

En éste sentido se deberá cumplir las reglamentaciones sobre el transporte de mercancías y desechos peligrosos y para el movimiento transfronterizo ajustarse a las previsiones establecidas por el Convenio de Basilea.

El Reglamento para el Transporte de Mercancías Peligrosas tiene como antecedentes las Recomendaciones relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas, cuya primera versión, elaborada por el Comité de Expertos en

Transporte de Mercaderías Peligrosas, del Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas, se publicó por primera vez en 1956 (Naciones Unidas, 2011).



Fuente: Código IMDG

Figura Nº 16: Señalización de transporte de sustancias tóxicas

En el año 1996, el Comité aprobó una primera versión de la Reglamentación Modelo para el Transporte de Mercancías Peligrosas, que se adjuntó como anexo a la décima edición revisada de las Recomendaciones Relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas. Con esta medida se consideró que se mejoraría la armonización, se facilitaría la actualización periódica de todos los instrumentos jurídicos pertinentes y se permitiría un considerable ahorro de recursos a los gobiernos de los Estados Miembros, a las Naciones Unidas, a los organismos especializados y a otras organizaciones internacionales.

Según éstas recomendaciones, el PCB es una sustancia clase 9, Sustancias y Objetos peligrosos diversos. Los residuos que no estén sujetos a las recomendaciones pero cubiertos por el Convenio de Basilea deberán ser transportados como Clase 9.

Para el etiquetado de transporte se adoptan los Paneles de Seguridad Naranja de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). En el caso del PCB, el número de identificación del peligro es el 90 (Materiales peligrosos diversos desde el punto de vista del medio ambiente) y la identificación de la materia se asigna con el número 2315, para el caso de los líquidos y 3432 para los sólidos que contengan PCB dentro de su composición. También se requiere el etiquetado según el ítem 5.2.2 del citado reglamento, para las materiales Clase 9, con el Rótulo de Riesgo que se muestra en la imagen siguiente.

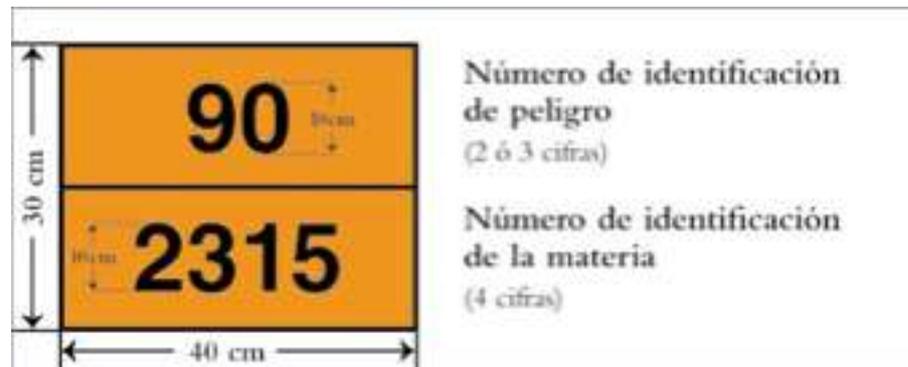


Figura N° 17: Etiquetado para transporte de sustancias tóxicas

Las empresas que transporten desechos dentro de su propio país deberán contar con la certificación como transportadores de materiales y desechos peligrosos, y su personal deberá estar calificado.

Se recomienda que para el traslado y transporte interno en instalaciones privadas se atienda a las recomendaciones y precauciones de la presente herramienta.

Para el transporte transfronterizo deberá requerirse consentimiento del país destino según lo normado en el Anexo V del Convenio de Basilea¹³ comunicando:

1. Exportador de los desechos;
2. Generador(es) de los desechos y lugar de generación;
3. Eliminador de los desechos y lugar efectivo de la eliminación;
4. Transportista(s) de los desechos y/o su(s) agente(s);
5. Sujeto a notificación general o singular;
6. Fecha en que se inició el movimiento transfronterizo y fecha(s) y acuso de recibo de cada persona que maneje los desechos;
7. Medios de transporte (por carretera, ferrocarril, vía de navegación interior, marítimo, aéreo) incluidos los Estados de exportación, tránsito e importación, así como puntos de entrada y salida cuando se han indicado;
8. Descripción general de los desechos (estado físico, nombre distintivo y clase de las Naciones Unidas con el que se embarca, número de las Naciones Unidas, Y y H cuando proceda);
9. Información sobre los requisitos especiales de manipulación incluida las disposiciones de emergencia en caso de accidente;
10. Tipo y número de bultos;
11. Cantidad en peso-volumen;

¹³ La octava reunión del Convenio de Basilea adoptó bajo decisión de Las Partes el Documento UNEP/CHW.8/CRP.4 que incluye las versiones revisadas de los formularios de Notificación de Consentimiento, que responde a lo requerido en el Anexo V A "Información que hay que Proporcionar con la Notificación Previa" y Notificación de Movimientos, correspondiente al Anexo V B "Información que hay que proporcionar en el Documento Relativo al Movimiento"

12. Declaración del generador o el exportador de que la información es correcta;
13. Declaración del generador o el exportador de que no hay objeción por parte de las Autoridades Competentes de todos los Estados interesados que sean miembros;
14. Certificación por el eliminador de la recepción de los desechos en la instalación designada e indicación del método de eliminación y la fecha aproximada de eliminación.

5.3.2 Almacenamiento

Los equipos, materiales y desechos consistentes en PCB, que los contengan o estén contaminados con ellos deberán almacenarse de manera segura, preferentemente en áreas reservadas exclusivamente a esos efectos y lejos de otros materiales y desechos.

Las áreas de almacenaje deberán diseñarse de manera que se impida la posible liberación de PCB al ambiente por cualquier vía.

Los locales, las áreas o los edificios de almacenamiento deberán ser diseñados por profesionales de experiencia en materia de diseño estructural, manejo de desechos y salud y seguridad ocupacionales o podrán adquirirse prefabricados a proveedores de prestigio.



Fuente: (Proyecto CRBAS - FMAM/PNUMA
"Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el
Sector Minero Sudamericano", 2011)

Figura N° 18: Contenedor cerrado para almacenamiento de sólidos y capacitores con PCB.



Fuente: (Proyecto CRBAS - FMAM/PNUMA "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano", 2011)

Figura Nº 19: Almacenamiento de líquidos conteniendo PCB en tambor cerrado para exportación.

A continuación se exponen algunos principios básicos relativos al almacenamiento seguro de equipos, materiales y desechos consistentes en PCB, que los contengan o estén contaminados con ellos, a saber:

1. Los lugares de almacenamiento situados en el interior de edificios de fines múltiples deberán ser locales o espacios cerrados por tabiques en zonas poco frecuentadas, dedicados especialmente a estos fines y provistos de cerradura.
2. Los edificios independientes o contenedores destinados al almacenamiento, situados al aire libre, deberán estar rodeados por un cerramiento periférico provisto de cerradura;
3. Dichos desechos no deberán almacenarse dentro o en la proximidad de lugares especialmente vulnerables, como hospitales u otras instituciones de salud pública, escuelas, viviendas, instalaciones de elaboración de alimentos, instalaciones de elaboración o almacenamiento de forrajes, operaciones agrícolas o instalaciones situadas cerca o en el interior de emplazamientos ambientalmente vulnerables;
4. Los locales, edificios y contenedores de almacenamiento deberán ubicarse y mantenerse en condiciones que reduzcan al mínimo la volatilización, lo que incluye temperaturas frescas, techos y cerramientos laterales reflectores, ubicación a la sombra, etc. Cuando sea necesario, en especial en los climas más cálidos, los locales y edificios de almacenamiento deberán mantenerse bajo presión negativa y la salida de los gases de escape deberá producirse a través de filtros de carbono activado tratado con oxígeno, teniendo en consideración las siguientes condiciones:
 - La conveniencia de ventilar un lugar de almacenamiento mediante el filtrado de los gases de escape con carbono cuando la exposición a los vapores de las personas que trabajan en dicho lugar y los que viven y trabajan en sus proximidades constituye una preocupación;

- La conveniencia de sellar y ventilar un lugar de almacenamiento de manera que solamente se liberen al aire exterior gases de escape bien filtrados, cuando las preocupaciones ambientales sean primordiales;
- 5. Los edificios o contenedores dedicados al almacenamiento deberán estar en buenas condiciones y ser de plástico rígido o metal, no de madera, tableros de fibras, paneles de escayola, yeso;
- 6. Las cubiertas de los edificios o contenedores dedicados al almacenamiento y el terreno circundante deberán tener una pendiente que garantice el drenaje del lugar de almacenamiento;
- 7. Los edificios o contenedores destinados al almacenamiento deberán erigirse preferentemente sobre láminas de material plástico duradero (por ejemplo, de 6 mm de espesor);
- 8. El pavimento de la zona de almacenamiento ubicados en el interior de edificaciones deberá ser de hormigón o duradero (por ejemplo, láminas de material plástico de 6 mm de espesor). El hormigón deberá recubrirse con polímero epóxico duradero;
- 9. Los lugares de almacenamiento deberán estar equipados con alarmas de incendio;
- 10. Los lugares de almacenamiento ubicados en el interior de edificaciones deberán estar equipados con sistemas de extinción de incendios (preferentemente que no utilicen agua). Si la sustancia ignífuga utilizada es agua, el pavimento del local de almacenamiento deberá tener un bordillo de contención y el sistema de drenaje del pavimento no desembocará en el alcantarillado general, en las alcantarillas de aguas pluviales ni directamente en las aguas superficiales; sino deberá tener su propio sistema colector, como un sumidero;
- 11. Los desechos líquidos deberán almacenarse en cubetas herméticas o en un área a prueba de filtraciones y que tenga un bordillo de contención. La capacidad de contención deberá ser de al menos el 125% del volumen del desecho líquido, teniendo en cuenta el área ocupada por los productos almacenados en el área de contención;
- 12. Las sustancias sólidas contaminadas deberán almacenarse en contenedores sellados, como barriles o cubos, contenedores de acero para desechos (tipo lugger box) o en envases contenedores construidos para dicho propósito. Grandes volúmenes de material pueden almacenarse a granel en contenedores de transporte, edificaciones o cámaras destinados a esos fines, a condición de que cumplan los requisitos de seguridad descritos en el presente documento;
- 13. Deberá crearse un inventario detallado de los desechos existentes en el lugar de almacenamiento que se mantendrá actualizado cada vez que se agreguen o eliminen desechos;
- 14. En el exterior del lugar de almacenamiento deberá colocarse rótulos que indiquen su condición de lugar de almacenamiento de desechos;

15. El lugar de almacenamiento deberá inspeccionarse de forma habitual a fin de detectar fugas de sustancias, degradación de los materiales de los contenedores, actos de vandalismo, alteraciones de la integridad de los sistemas de alarma de incendios y de los sistemas de extinción de incendios, así como del estado general del lugar de almacenamiento.

5.4 Tratamiento y disposición final de PCB

La eliminación de PCB puede incluir varias etapas y ser realizada utilizando varios procedimientos con reconocido éxito, en el Perú hasta la fecha no existe mucha experiencia en esta actividad. Como quiera que este trabajo tiene la finalidad de establecer la estrategia más viable para ser aplicada en el objetivo supremos del país el cual es eliminar los PCB de nuestro ambiente.

En este sentido podemos afirmar que en Sudamérica se esta utilizando dos procedimientos para la eliminación de PCB: la declorinación o eliminación de PCB por reacciones químicas con sodio metálico y la incineración de existencias en hornos de alta temperatura y procesos controlados. Este proceso requiere del servicio de un transporte transfronterizo como desecho peligroso de acuerdo a lo reglamentado por el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación.

Para la eliminación de PCB, se debe realizar además un análisis técnico - económico en base a los resultados del Inventario con la finalidad de optar por las tecnologías más adecuadas, de manera de cumplir con los objetivos de eliminación y compromisos del Convenio de Estocolmo (Ver Anexo N° 10: Tecnologías de Eliminación de PCB). Una vez identificadas las tecnologías a aplicar, se podrá elaborar un Plan de Gestión de PCB, descrito anteriormente, el cual contendrá las pautas, estrategia, presupuesto y los plazos para la eliminación de PCB; como se mencionó anteriormente, este documento será aprobado, reportado y fiscalizado por la Autoridad Competente hasta la presentación de Informe Final que significa obtener un certificando que el plan se cumplió pudiendo decir que la empresa regulada se encuentra libre de PCB.

Las operaciones para la eliminación tienen las siguientes etapas:

1. El pretratamiento, con el objeto de reducir el volumen el material a tratar, o bien la preparación para operaciones posteriores, mediante procesos de segregación, separación, extracción, concentración que lleven a una menor cantidad de residuo a tratar o disponer.
2. El tratamiento de eliminación propiamente dicho.

La etapa de eliminación de PCB es una actividad que lleva muchos riesgos que están asociados a la manipulación de elementos altamente tóxicos como son los PCB, por lo que se deberá tener presente la menor posibilidad de transporte, exposición libre y mayor protección del personal que opere y riesgo de liberación involuntaria. En general se deberá tener en cuenta lo siguiente:

1. Evitar que se produzcan liberaciones no intencionales.

2. Realizar y evaluar los controles higiénicos al personal expuesto.
3. Llevar registro de la trazabilidad de los equipos, aceites, residuos, elementos contaminados, que permitan actualizar los inventarios y documentar la gestión para ser informada a la Autoridad competente.
4. Controlar y fiscalizar las tecnologías de tratamiento, operaciones de eliminación, generación y disposición final de residuos peligrosos.
5. Garantizar el acceso a la información por parte de las entidades fiscalizadoras del Estado y la población en general.

Toda operación que involucre el tratamiento o eliminación de PCB deberá ser realizada mediante tecnologías aprobadas por las autoridades de aplicación, las cuales deberán contemplar:

1. Los objetivos propuestos por la aplicación de la tecnología.
2. Antecedentes de uso.
3. Descripción de los proceso – evaluación de la eficiencia.
4. Contar con un Plan de Manejo Ambiental (PMA) para casos de equipos móviles y Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para casos de instalaciones fijas, aprobada por la autoridad competente
5. Programas de capacitación al personal.
6. Plan de contingencias y emergencias.
7. Generación y gestión de residuos.
8. Generación de efluentes líquidos y emisiones a la atmosfera.
9. Programa de monitoreo y control.
10. Ensayos y pruebas de validación de la tecnología y del proceso aplicado.

En Estado Peruano a través de su órgano fiscalizador de la Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) podrá exigir la realización de una Auditoría Ambiental de los establecimientos donde ya se desarrollen tareas relacionadas con la eliminación de PCB de forma de determinar posibles impactos ambientales negativos y aplicar las medidas necesarias de mitigación y monitoreo respectivo.

Para el caso de establecimientos fijos a instalarse se requerirá, conforme la normativa vigente, un Estudio de Impacto Ambiental incluyendo la instancia de participación ciudadana.

A continuación, se presentan en forma de resumen, las tecnologías que se encuentran disponibles para el tratamiento de PCB (PNUMA, 2004) y la posibilidad de ser utilizadas en el Perú.

Tabla N° 7: Capacidad Regional Latinoamericana y el Caribe de eliminación de PCB

País*	Capacidad de eliminar PCB	Comentarios
Antigua y Barbuda	No	No hay instalaciones
Argentina	Si	Instalación móvil de KioshiPerú S.A. podría instalarse en Perú para tratar aceite contaminado con PCB
Bahamas	No	No hay instalaciones
Barbados	No	No hay instalaciones
Bélice	No	No hay instalaciones; importación prohibida
Bolivia	No	No hay instalaciones; importación prohibida
Brasil	No	Una instalación indicó estar en eliminación de importar desechos para su incineración, pero la importación de desechos está prohibida
Chile	Si	Se identificó una instalación (Hidronor) que facilita la recolección y exportación de desechos a Europa para su tratamiento; plantas de coprocesamiento con cemento (Holcim y Lafarge) potencialmente pueden tratar desechos de PCB con concentraciones menores a 50 ppm
Colombia	No	No hay instalaciones; importación prohibida
Costa Rica	No	No hay instalaciones
Cuba	No	Importación prohibida; sólo se identificaron instalaciones fijas que pueden o no tratar desechos de PCBs
República Dominicana	No	No hay instalaciones
Ecuador	No	Luego de aprobación de la Norma Técnica las plantas de coprocesamiento con cemento (Holcim y Lafarge) potencialmente pueden tratar desechos de PCB con concentraciones menores a 50 ppm
El Salvador	No	Importación prohibida
Guyana	No	No hay instalaciones
Honduras	No	No hay instalaciones
Jamaica	No	No hay instalaciones; importación prohibida
México	No	Importación prohibida
Nicaragua	No	No hay instalaciones disponibles
Panamá	No	No hay instalaciones disponibles
Paraguay	No	No hay instalaciones disponibles; importación prohibida
Perú	Si	KioshiPerú SA, puede tratar PCB con una unidad móvil. Se cuenta con una empresa que realiza exportación para disposición final y confinamiento para existencias de PCB con menos de 50 ppm.
Santa Lucía	No	No hay instalaciones disponibles
San Vicente y Granadinas	No	No hay instalaciones disponibles
Surinam	No	No hay instalaciones disponibles
Trinidad y Tobago	No	No hay instalaciones disponibles
Uruguay	No	No hay instalaciones disponibles
Venezuela	No	Importación prohibida

Nota: Información complementada con los Planes Nacionales de Implementación (PNI) del Convenio de Estocolmo de Antigua y Barbuda, Barbados, Costa Rica, República Dominicana, Panamá, Santa Lucía y Uruguay.

Fuente: PNUMA, Inventory of Worldwide PCB Destruction Capacity, Ginebra – 2004.

Hay que considerar que, en general, una sola tecnología normalmente no llega a cubrir todos los criterios técnicos, sociales, económicos, institucionales y

ambientales necesarios, dada la complejidad del problema y las diferentes matrices y concentraciones en las cuales los PCB pueden estar presentes. Dependiendo de cada caso a resolver es posible que una, o la combinación de varias tecnologías, sea la opción más conveniente.

A modo de ejemplo, en el caso de balastros (reactancias inductivas) de tubos fluorescentes, sólidos contaminados con altas concentraciones de PCB, la incineración constituye hoy en día la opción más generalizada. El proceso de incineración se debe realizar mediante la exportación de equipos y residuos contaminados con PCB a empresas especializadas, en el país existen empresas que han exportado equipos con PCB para ser incinerados en Europa (Proyecto CRBAS - FMAM/PNUMA "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano", 2011).

Para el tratamiento de equipos con aceite mineral contaminado con PCB, la combinación de relleno y declorinación del aceite, puede constituir la opción económicamente más viable, complementada con el tratamiento de sólidos impregnados con PCB por extracción con solvente o incineración directa (Proyecto CRBAS - FMAM/PNUMA "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano", 2011).

En cambio, para la remediación o recomposición ambiental de sitios contaminados, tratamientos de suelos y aguas, puede resultar útil aplicar la tecnología de oxidación química in situ (The Interstate Technology & Regulatory Council In Situ Chemical Oxidation Team, 2005) cuando la incineración solo se encuentra disponible a través de la exportación a países que posean capacidad instalada, siendo impracticables técnicas como la declorinación.

5.4.1 Tratamiento previo

Como se menciona anteriormente es necesario realizar un tratamiento previo a las existencias de PCB, con la finalidad de reducir costos operativos, recuperar recursos disminuir volúmenes de desechos a tratar o exportar y así minimizar riesgos de transporte, entre otras ventajas. A continuación se detalla los métodos disponibles tomando como base a lo presentado en el Proyecto CBRAS - FMAM/PNUMA "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano", 2011.

5.4.1.1 Adsorción y absorción

"Sorción" es el término general que se aplica a los dos procesos de adsorción y absorción. Sorción es un método de tratamiento previo que utiliza sólidos para eliminar sustancias de los líquidos o los gases. Adsorción es la separación de una sustancia (líquido, aceite, gas) de una fase y su acumulación en la superficie de otra (carbón activado, zeolita, sílice, etc.). Absorción, es el proceso mediante el cual un material transferido de una fase a otra interpenetra la segunda fase (por ejemplo, un contaminante transferido de la fase líquida a carbón activado) (Gunt Hamburg, 2005).

Los procesos de adsorción y absorción pueden servir para concentrar contaminantes y separarlos de los desechos acuosos y corrientes de gas. Los desechos acuosos o gaseosos pueden generarse a partir de operaciones de manipulación o eliminación de PCB, o bien estar constituidos por líquidos contenidos de PCB a partir de procesos de contaminación ambiental, de napas, lagos. Es posible que el concentrado y el adsorbente o absorbente necesiten ser tratados antes de su eliminación.

5.4.1.2 Deshidratación

La Deshidratación es un proceso de tratamiento previo que elimina parte del agua de los desechos que serán tratados. La Deshidratación se puede utilizar en las tecnologías de eliminación que no son apropiadas para los desechos acuosos. Por ejemplo, el agua puede reaccionar de manera explosiva con el sodio o las sales fundidas. Los vapores resultantes pueden requerir condensación o depuración y recibir tratamiento ulterior.

5.4.1.3 Separación mecánica

Se puede aplicar a este método para extraer residuos de gran tamaño de la corriente de desechos o para tecnologías que no son apropiadas para suelos y para desechos sólidos, a la vez. Un método de separación mecánica aplicable puede darse en la separación de residuos oleosos que contengan agua libre o sólidos, que puedan ser separados por decantación, obteniendo dos residuos de características diferentes que poseen métodos de tratamiento y eliminación diferentes. A modo de ejemplo, un residual de aceite mineral contaminado con agua y sólidos, podría ser centrifugado, obteniendo un aceite para ser declorinado, agua que podría filtrarse con carbón activado y como tercer componente, sólidos, que se reunirían al carbón activado residual para tratamiento por incineración (Proyecto CRBAS - FMAM/PNUMA "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano", 2011).

5.4.1.4 Mezcla

Para optimizar la eficiencia del tratamiento tal vez sea apropiado mezclar los materiales antes de proceder al tratamiento de desechos. No obstante, no es ambientalmente racional mezclar desechos con un contenido de PCB superior al definido como bajo contenido de PCB con otros materiales, únicamente con el objetivo de generar una mezcla con un contenido de PCB inferior al definido como bajo contenido de PCB.

En el caso de tratamiento de aceites minerales contaminados con PCB, se puede establecer un sistema de tratamiento que requiera reunir los líquidos provenientes de varios equipos para completar los volúmenes de reacción. En el caso de tratamiento en hornos de cemento, puede requerirse la mezcla con combustibles libres de PCB para regular el contenido de cloro que ingresa al horno. El porcentaje de cloro en el material a combustionar se regula en el ingreso al horno para minimizar la formación de dioxinas y furanos. El Grupo empresario Holcim, ha

divulgado a nivel mundial su política de ofrecer servicios ambientales para tratamiento y disposición final de desechos peligrosos bajo la actividad de coprocesamiento en hornos cementeros, especialmente en oportunidad de realizarse la novena Conferencia de Partes del Convenio de Basilea en Bali, Indonesia, 2008, posibilitando en este marco la eliminación de materiales con bajo contenido de PCB (menos de 50 ppm). En la décima Conferencia de Partes del mismo Convenio, realizada recientemente en Cartagena de Indias, Colombia, la República de Chile ha presentado una guía técnica para coprocesamiento de desechos peligrosos que incluye la GAR de residuos conteniendo PCB habiendo sido aprobada por decisión de Las Partes del Convenio (Proyecto CRBAS - FMAM/PNUMA "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano", 2011)

5.4.1.5 Separación de aceite y agua

Algunas tecnologías de tratamiento no son idóneas para los desechos acuosos; mientras que otras no lo son para los oleosos. En estos casos puede recurrirse a la separación de aceite y agua para separar la fase oleosa del agua. Es posible que tras la separación, la fase oleosa y el agua estén contaminadas y necesiten ser tratadas, por lo tanto este procedimiento podrá ser aplicada solamente en aquellos casos que el agua constituye un impedimento en si para alguna operación posterior.

5.4.1.6 Ajuste del pH

Algunas tecnologías de tratamiento alcanzan su máxima eficacia por encima de un determinado intervalo de valores de pH y en tales condiciones a menudo se utilizan álcalis, ácidos como el CO₂ para controlar los niveles de pH. Determinadas tecnologías pueden incluso exigir el ajuste del pH como medida de post-tratamiento. Las aguas provenientes de tratamientos con hidróxidos o metales alcalinos, además de la eliminación de materia orgánica debe requerir el ajuste de pH para su descarga. (Proyecto CRBAS - FMAM/PNUMA "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano", 2011)

5.4.1.7 Reducción del tamaño

Este procedimiento se debe aplicar en los casos en que la tecnología de tratamiento no admite sobrepasar un tamaño determinado. Por ejemplo, es posible que ciertos procesos se puedan aplicar a desechos sólidos contaminados con PCB con un diámetro inferior a los 200 mm. En estos casos se puede realizar la trituración para reducir los componentes de los desechos a partículas de un diámetro determinado. Otras tecnologías de eliminación exigen que se preparen mezclas de elementos contaminados con sustancias combustibles antes de que se las introduzca en el reactor principal. Se debe señalar la posible contaminación de las trituradoras al procesar desechos que consistan en PCB, que los contengan o estén contaminados con ellos. En consecuencia, deben tomarse precauciones para impedir la subsiguiente contaminación de corrientes de desechos sin PCB (Ekokem, 2005).

5.4.1.8 Lavado con disolventes

Una manera efectiva de realizar el pre tratamiento es realizar un lavado de las existencias con solventes que eliminen el PCB, especialmente de equipos eléctricos, como condensadores y transformadores. Esta tecnología también ha sido utilizada para tratar suelos contaminados y materiales de sorción usados en el tratamiento previo de adsorción o absorción.

Esta operación se realiza utilizando autoclaves cerradas, donde la existencia con PCB totalmente desmantelada se somete a ciclos de lavado con líquidos o vapores de disolventes como el percloroetileno (Erickson, 1997). Este tratamiento permite recuperar carcasas, metales de arrollamientos (cobre, aluminio) y ferrosilicio, generando un residual de cola de destilado concentrado en PCB y sólidos, maderas, papeles que deben ser caracterizados para poder determinar su destino final como residuos de PCB o libres de éstos.

5.4.1.9 Desorción térmica

La desorción térmica a baja temperatura, conocida también como volatilización térmica a baja temperatura, purga térmica y calcinación de suelos es una tecnología correctiva de aplicación ex situ que utiliza el calor físicamente para separar los compuestos y elementos volátiles y semivolátiles (habitualmente petróleo e hidrocarburos) de los medios contaminados (casi siempre suelos excavados).

Esos procesos se han utilizado para descontaminar las superficies no porosas de equipos eléctricos como carcasas de transformadores que contenían líquidos dieléctricos con PCB. La desorción térmica de los desechos que contengan PCB o estén contaminados con ellos podría provocar la formación de COP de forma no intencional, que podrían requerir un tratamiento adicional.

5.4.1.10 Rellenado de transformadores

Este proceso tiene como finalidad la recuperación de transformadores en uso, que posean aceite mineral contaminado con PCB, y cuya vida útil pueda prolongarse mediante el agregado de aceite libre de PCB. En este pre tratamiento es aconsejable realizar el drenaje de la mayor cantidad de aceite posible, para evitar la repetición del proceso y acrecentar de esta forma la cantidad de residuos de PCB a eliminar en una sola etapa.

Este proceso puede ser complementado mediante el lavado con solvente de núcleos y carcasas, incluso puede realizarse el desmontaje del núcleo y el rebobinado del transformador, si se considera necesario. En estos casos se deberán tomar las necesarias precauciones para liberaciones al ambiente y protección de trabajadores involucrados.

De esta forma, el proceso puede generar residuos distintos del aceite aislante con contenidos de PCB, sólidos impregnados (papeles y maderas del núcleo, metales,

empaquetaduras, entre otros), solventes contaminados, que deberán ser sometidos a un proceso de eliminación.

Hay que considerar que luego del relleno se produce dentro del transformador un proceso de mezcla y migración de PCB, desde el aceite presente en intersticios e impregnado en el núcleo hacia el aceite libre de PCB agregado, llamado exudación. Esto provoca un incremento en la concentración de PCB en el aceite que puede superar el criterio de bajo contenido de PCB.

Para casos como nuestro país se deberá realizar el tratamiento de PCB asegurando una concentración final debajo de 20 ppm para que luego de 90 días y producida la mencionada exudación el nivel de concentración de PCB se encuentre debajo del límite permitido de 50 ppm, sobre todo en el caso de equipos que continuarán su operación comercial luego del tratamiento.

Este procedimiento es adecuado para transformadores de aceite mineral contaminado con PCB, no siendo aconsejable para transformadores de PCB puros o con alto contenido de PCB, porque el proceso de exudación generaría altos contenidos aceite contaminado con PCB (Deheza & Musache, 2005).

5.4.2 Métodos de destrucción y transformación irreversible

En general, se pueden identificar las siguientes operaciones de eliminación de PCB, las mismas que están previstas en las secciones A y B del Anexo IV del Convenio de Basilea a los fines de destrucción o transformación irreversible del contenido de PCB:

- D9 Tratamiento fisicoquímico;
- D10 Incineración en la tierra;
- R1 Utilización como combustible (que no sea en la incineración directa) u otros medios de generar energía.
- R3 Reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se usen como disolventes, pero restringidas a la conversión de desechos a gas;
- R4 Reciclado o recuperación de metales y compuestos metálicos, pero restringidos a actividades de metalurgia primaria y secundaria.

Los PCB que se hayan extraído de los desechos durante una operación de tratamiento previo se deberán eliminar posteriormente conforme a las operaciones D9 y D10 del citado Convenio.

A continuación se hace una descripción general de las tecnologías identificadas como aplicables en Latinoamérica (Proyecto CRBAS - FMAM/PNUMA "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano", 2011), haciendo hincapié que para el caso del Perú se hace necesario establecer la viabilidad de tratamiento con el método de dechlorinación y la eliminación a través de la incineración asociada a la exportación de existencias de PCB.

5.4.2.1 Reducción por metal alcalino

La reducción supone el tratamiento de desechos con metales alcalinos dispersos. Los metales alcalinos reaccionan con el cloro en los desechos halogenados, produciendo sales y desechos no halogenados. Normalmente, el proceso tiene lugar a presión atmosférica y a temperaturas de entre 60°C y 180°C. El tratamiento puede realizarse in situ (por ej., en transformadores contaminados con PCB) o ex situ en un recipiente de reacción. Este proceso admite diversas variantes. Si bien se ha utilizado potasio y aleación de potasio y sodio, el agente reductor más comúnmente consumido es el sodio metálico.

Como es un proceso que se utiliza principalmente para aceite mineral contaminado con PCB, en concentraciones típicamente inferiores a 1%, resulta muy conveniente su aplicación conjunta con los procesos de rellenado de transformadores, permitiendo la reclasificación y minimizando el requerimiento de insumos.

Resulta ser una de las tecnologías más utilizadas para aceites minerales contaminados. En la país se cuenta con la empresa KioshiPeru S.A. que ofrece esta tecnología basadas en la utilización de sodio y potasio como agentes declorinantes, que ha sido aprobada por la Autoridad de Salud Ambiental (DIGESA).

El procedimiento es aplicado sobre aceite mineral contaminado, no siendo de aplicabilidad práctica para PCB puro. Tampoco es aplicable para matrices que puedan contener humedad por razones de seguridad, ni para el tratamiento de suelos o matrices sólidas.

A pesar de estas limitaciones, y debido al gran volumen de aceites minerales contaminados, esta tecnología es de alta aceptación y uso.

5.4.2.2 Descomposición catalizada por bases (DCB)

El proceso de DCB es el tratamiento de desechos en presencia de una mezcla de reactivos que incluye aceite que aportara el hidrógeno, hidróxido de un metal alcalino y catalizador patentado. Cuando la mezcla se calienta a más de 300°C, el reactivo produce hidrógeno atómico altamente reactivo. El hidrógeno atómico reacciona con el desecho eliminando los constituyentes que aportan la toxicidad a los compuestos. Puede ser aplicado hasta concentraciones del orden del 30% y entre las matrices de desechos de PCB aplicables están los suelos, los sedimentos, los fangos y los líquidos. La empresa Australiana BCD Group (BCDgroup, 2011) afirma, además, que se ha demostrado que el proceso destruye los PCB en las superficies de madera, papel y metal de los transformadores.

Dado que el proceso de DCB incluye la purga del cloro del compuesto de desecho, el proceso de tratamiento puede dar lugar a un aumento en la concentración de especies cloradas inferiores.

5.4.2.3 Hidrodechloración catalítica (HDC)

La HDC supone el tratamiento de desechos con gas hidrógeno y catalizador de paladio sobre carbono (Pd/C) disperso en aceite de parafina. El hidrógeno reacciona con el cloro del desecho halogenado para producir cloruro de hidrógeno (HCl) y desecho no halogenado.

En el caso de los PCB, el principal producto es el bifenilo. El proceso se desarrolla a presión atmosférica y temperaturas comprendidas entre 180 °C y 260 °C (Naciones Unidas, 2005).

Este proceso está patentado por las firmas Kansai Electric Power C. y Kanden Engineering Co. y ha sido probado para tratamiento de condensadores usados (Kanden, 2004).

5.4.2.4 Co-procesamiento en horno de cemento

Por lo general, los hornos de cemento consisten en un cilindro de entre 50 y 150 metros de largo, ligeramente inclinado con respecto a la horizontal (en pendiente de entre 3% y 4%), cuya rotación oscila entre 1 y 4 revoluciones por minuto aproximadamente. Por el extremo superior, o “frío”, del horno rotatorio se introducen las materias primas, como piedra caliza, silicio, alúmina y óxidos de hierro. La pendiente y la rotación hacen que los materiales desciendan hasta el extremo inferior, o “caliente”, del horno. Este recibe calor por el extremo inferior, donde las temperaturas llegan a ser de 1.400 °C–1.500 °C. A medida que los materiales se desplazan en el horno son sometidos a un proceso de secado y tratamiento térmico para formar el clínker de cemento.

Los cloruros influyen en la calidad del cemento, por lo que es preciso limitarlos; además de ser precursor de dioxinas y furanos. El cloro está presente en todas las materias primas utilizadas en la fabricación de cemento, por lo que el contenido de cloro del desecho peligroso es esencial. Si bien los hornos rotatorios de cemento son una metodología aceptable para el tratamiento de desechos peligrosos con bajo contenido de PCB pueden ser una alternativa para el tratamiento de concentraciones mayores.

El co-procesamiento es aplicable a residuos oleosos en toda concentración, ya que puede regularse la inyección para controlar el contenido de cloro en el combustible.

5.4.2.5 Reducción química en fase gaseosa (RQFG)

El proceso de RQFG entraña la reducción termoquímica de compuestos orgánicos. A temperaturas superiores a los 850°C y a bajas presiones, el hidrógeno reacciona con los compuestos orgánicos clorados para formar principalmente metano y cloruro de hidrógeno. Se han registrado eficiencias de destrucción de 99,9999% para DDT, HCB, PCB, PCDD y PCDF.

5.4.2.6 Incineración de desechos peligrosos

En la incineración de desechos peligrosos se utiliza la combustión con llama controlada para el tratamiento de los contaminantes orgánicos, principalmente en hornos rotatorios. Normalmente, un proceso de tratamiento consiste en calentar a temperaturas superiores a 850°C, si el contenido de cloro es superior al 1% a 1.000°C, con un tiempo de residencia de más de 2 segundos, en condiciones que garanticen una mezcla adecuada. Existen varias configuraciones de incineradores especiales de desechos peligrosos, entre ellos incineradores de horno rotatorio y hornos estáticos (solamente para líquidos). También se utilizan para la incineración de desechos peligrosos calderas de alto rendimiento y hornos rotatorios para agregados ligeros; puede obtenerse información adicional relacionada con esta tecnología en Brunner, 2004. Se han registrado una eficiencia de remoción de la destrucción superiores a 99,9999% en el tratamiento de desechos consistentes en COP, que los contengan o esten contaminados con ellos. Se han determinado eficiencia de destrucción superiores al 99,999% y eficiencia de remoción de la destrucción superiores al 99,9999% para aldrina, clordano y DDT (Ministry of the Environment of Japan, 2004), y se han registrado eficiencia de destrucción entre 83,15% y 99,88 % para PCB (Naciones Unidas, 2005).

La incineración es ampliamente aplicada a gran variedad de desechos, y puede ser utilizada tanto en líquidos como en materiales sólidos con contenidos de PCB en un amplio rango de concentraciones hasta PCB puros.

5.4.2.7 Reacción de decloración fotoquímica (DFQ) y reacción de decloración catalítica (DC)

La DFQ y DC son tecnologías que utilizan métodos combinados de reacción de decloración fotoquímica (DFQ) y reacción de decloración catalítica (DC) (Naciones Unidas, 2005). En el proceso de destrucción los PCB se mezclan con hidróxido de sodio (NaOH) y alcohol isopropílico de modo que la concentración de PCB en este deberá alcanzar reducidos porcentajes en peso. Ulteriormente, los PCB se decloran mediante dos procesos independientes, es decir, los procesos DFQ y DC. Cada proceso se desarrolla a temperatura moderada (<75°C) y a presión atmosférica. Una vez que los PCB se han declorado, se producen bifenilo, cloruro de sodio, acetona y agua, pero no se producen gases tales como el hidrógeno o el ácido hidrocórico.

5.4.2.8 Arco de plasma

El proceso Plascon™ (Naciones Unidas, 2005), emplea un arco de plasma con temperaturas superiores a los 3000°C para tratar los desechos por pirólisis. Junto con el argón, los desechos se inyectan directamente en el arco de plasma y las altas temperaturas hacen que los compuestos se disocien en sus iones y átomos elementales. La recombinación tiene lugar en una zona de temperatura más baja de la cámara de reacción, que produce un enfriamiento que da lugar a la formación de moléculas simples. Los ensayos en banco de pruebas con aceites que contienen

un 60% de PCB han obtenido Eficiencias de Remoción que oscilan entre el 99,9999% y 99,999999%.

Este método permite su aplicación en desechos con altos contenidos de PCB, como alternativa a la incineración en hornos pirolíticos.

5.4.2.9 Método del tert-butóxido de potasio

Los PCB en aceites de aislamiento se declaran mediante reacción con el tert-butóxido de potasio (t-BuOK). El t-BuOK reacciona con el cloro de los PCB para producir sal y desecho no clorado. Normalmente, el proceso se desarrolla a presión atmosférica y temperaturas comprendidas entre 200°C y 240°C (Oono, Kaneda y Kirata, 1997 y Oono y Kaneda, 1997). Se ha determinado que puede conseguirse una reducción del contenido de PCB hasta menos de 0,5 mg/kg.

5.4.2.10 Oxidación en agua supercrítica (OASC) y oxidación en agua subcrítica

La OASC y la oxidación en agua subcrítica trata los desechos en un sistema cerrado y utiliza un oxidante (como oxígeno, peróxido de hidrógeno, nitrito, nitrato, etc.) en agua a temperaturas y presiones por encima del punto crítico del agua (374°C y 218 atmósferas) y por debajo de condiciones subcríticas (370°C y 262 atmósferas). En estas condiciones, los materiales orgánicos se tornan muy solubles en agua y se oxidan para producir dióxido de carbono, agua y sales o ácidos inorgánicos.

5.4.2.11 Conversión de desechos en gas

El proceso es una tecnología de tratamiento previo y tratamiento de gasificación para la recuperación de desechos que contienen hidrocarburos que funcionan a altas temperaturas (1300°C- 2000°C) y alta presión (aproximadamente 25 bares) utilizando vapor y oxígeno puro en una atmósfera reductora. Todas las moléculas de los hidrocarburos en los desechos se escinden irreversiblemente en pequeñas moléculas gaseosas tales como hidrógeno (H₂) y monóxido de carbono (CO), metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). Los hidrocarburos de cadena corta como el etano (C₂H₆), el propano (C₃H₈) y el butano (C₄H₁₀), y otros compuestos se producen en cantidades pequeñas (<1% vol.). Los COP, incluidos los PCB contenidos en los desechos, se destruyen eficazmente. Posteriormente, en un proceso de varias etapas, el gas crudo resultante se convierte en gas de síntesis para la producción de metanol de grado máximo.

5.4.3 Otros métodos de eliminación cuando ni la destrucción ni la transformación irreversible representan la opción ambientalmente preferible

Cuando situaciones excepcionales institucionales, técnicas o legales, de tiempo o disponibilidad de factibilidad y capacidad de eliminación local o regional en un corto plazo conlleven a que ni la destrucción ni la transformación irreversible constituyen la opción ambientalmente preferible para tratar los desechos cuyo

contenido de PCB es superior al límite máximo permitido, dependiendo de la concentración de PCB, se podrá autorizar la eliminación de tales desechos por métodos diferentes de los expuestos en la presente sección.

Entre los desechos que contienen PCB o están contaminados con ellos y para los cuales se pueden considerar otros métodos de eliminación son:

1. Los desechos de centrales eléctricas y de otras centrales térmicas; los residuos generados por la industria siderúrgica y los desechos de la termometalurgia del aluminio, el plomo, el cinc, el cobre y otros metales no ferrosos. Figuran entre ellos las cenizas del fondo, escorias, escorias de sal, cenizas volantes, polvo de calderas, gases y polvos de combustión de metales no ferrosos, otras partículas y polvos, residuos sólidos del tratamiento de gases, granallas negras, residuos del tratamiento de escorias de sal y granallas negras, granallas y espumas;
2. Revestimientos y refractarios a base de carbono, y de otro tipo, de los procesos metalúrgicos;
3. Los desechos de construcción y demolición siguientes:
 - Mezclas o fracciones separadas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos;
 - La fracción inorgánica de suelos y piedras incluidos los suelos excavados de lugares contaminados;
 - Desechos de construcción y demolición que contienen PCB, excluidos los equipos que contienen PCB;
 - Los residuos de la incineración o la pirólisis de desechos, incluidos los residuos sólidos del tratamiento de gases, cenizas de fondo, escoria, cenizas volantes y polvo de calderas;
 - Desechos vitrificados y de la vitrificación, incluidos cenizas volantes, y otros residuos del tratamiento de gases de combustión y desechos de la fase sólida no vitrificada.

La Autoridad Competente del país en cuestión deberá cerciorarse de que ni la destrucción ni la transformación irreversible del contenido de PCB, realizada de conformidad con las mejores prácticas ambientales o las mejores técnicas disponibles, constituyen la opción ambientalmente preferible.

Entre otros métodos de eliminación, cuando la destrucción o la transformación irreversible no constituyen la opción ambientalmente preferible, figuran los que se describen a continuación.

5.4.3.1 Vertederos especialmente diseñados

Los vertederos deberían utilizarse de modo que se reduzca al mínimo la posibilidad de que el contenido de PCB contamine el ambiente. Esto puede conseguirse mediante el tratamiento previo, por ejemplo, utilizando un proceso adecuado de solidificación. Un vertedero especialmente diseñado debe cumplir con requisitos relativos a la ubicación, acondicionamiento, gestión, control, clausura y

medidas preventivas y de protección que habrá que adoptar para evitar cualquier riesgo al ambiente, tanto a largo como a corto plazo, en particular, en lo que se refiere en medidas contra la contaminación de las aguas subterráneas por infiltración de lixiviados en el terreno. La protección del terreno, de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales puede lograrse mediante una combinación de barreras geológicas y un sistema de revestimiento del fondo durante la fase operacional y mediante la combinación de una barrera geológica y un revestimiento superior durante la fase de clausura y posterior a la clausura (UNEP, 1995)

Los siguientes desechos que contengan PCB o estén contaminados con ellos no son adecuados para su eliminación en vertederos especialmente diseñados:

1. Líquidos y materiales que contengan líquidos libres;
2. Desechos orgánicos biodegradables;
3. Contenedores vacíos a menos que estén aplastados, triturados o reducidos en volumen de forma análoga;
4. Explosivos, sólidos inflamables, materiales de combustión espontánea, sustancias que reaccionan con el agua, oxidantes y peróxidos orgánicos.

5.4.3.2 Almacenamiento permanente en minas y formaciones subterráneas

El almacenamiento permanente en instalaciones ubicadas en minas de sal y formaciones de roca dura subterráneas geohidrológicamente aisladas es una opción para separar a los desechos peligrosos de la biósfera durante períodos de tiempo geológicos. Para cada instalación subterránea de almacenamiento proyectada deberá realizarse una evaluación de la seguridad específica del emplazamiento, de conformidad con la legislación nacional pertinente o las recomendaciones y referencias internacionales.

Los desechos deben eliminarse de modo que quede excluida toda reacción no deseada entre los diferentes tipos de desechos o entre éstos y el revestimiento del almacenamiento en contenedores química y mecánicamente seguros. Los desechos que son líquidos, gaseosos, que producen gases tóxicos o son explosivos, inflamables o infecciosos no deben almacenarse en minas subterráneas. Los permisos operacionales deben definir los tipos de desechos que deben normalmente excluirse.

En la selección de un almacenamiento permanente para la eliminación de materiales, equipos y desechos consistentes en PCB, que los contengan o estén contaminados con ellos deberán tenerse en consideración las siguientes consideraciones:

1. Las cuevas o túneles utilizados para el almacenamiento deberán estar totalmente aislados de las zonas mineras en explotación o de aquellas que puedan volver a explotarse;

2. Las cuevas o túneles deberán encontrarse ubicados en formaciones geológicas que se encuentren muy por debajo de las zonas de agua subterránea o en formaciones totalmente aisladas de zonas acuíferas por capas impermeables de roca o arcilla;
3. Las cuevas o túneles deberán encontrarse ubicados en formaciones geológicas extremadamente estables y no en zonas sísmicas.

La Figura N° 20 muestra un esquema de trabajo anual para la reclasificación de transformadores con el objetivo de optimizar la gestión, reducir costos y minimizar traslados de equipos, disminuyendo consecuentemente el transporte intra o extra región de residuos con contenidos de PCB.

5.4.4 Resumen de tecnologías aplicables

Las distintas tecnologías a aplicar dependerán de varios factores a tener en cuenta, siendo aconsejable la implementación de determinados procesos a escala nacional para minimizar el transporte de grandes cantidades/volúmenes de residuos, y de esta forma disminuir riesgos ambientales y costos económicos y energéticos en la gestión integral del PCB existente.

Para poder identificar las tecnologías más útiles es necesaria la definición e identificación de las principales matrices, las cuales estarán relacionadas con distintas categorías de desechos y materiales:

1. Transformadores de PCB de origen puro.
2. Transformadores con aceite mineral, con alto contenido de PCB (típicamente mayores al 1% en peso de aceite).
3. Transformadores de aceite mineral con contenido de PCB comprendido entre 50 ppm y 1%.
4. Capacitores de PCB, o con contenido de PCB mayor a 50 ppm.
5. Balastos, capacitores pequeños, componentes eléctricos o electrónicos que contengan PCB.
6. Residuos oleosos provenientes de cambios de aceite, muestras de laboratorio.
7. Residuos líquidos de solventes orgánicos (percloroetileno, isooctano, hexano, otros), provenientes de operaciones de lavado de equipos, y materiales, análisis, limpieza de instalaciones.
8. Agua residual con contenido de PCB.
9. Superficies o materiales con PCB, producto de eventos de contaminación o por usos abiertos de PCB.
10. Residuos sólidos impregnados en PCB, sin líquidos libres. Por ejemplo equipos de protección personal, absorbentes de derrames, eliminación de aplicaciones abiertas, restos de demolición.
11. Suelos contaminados con PCB.

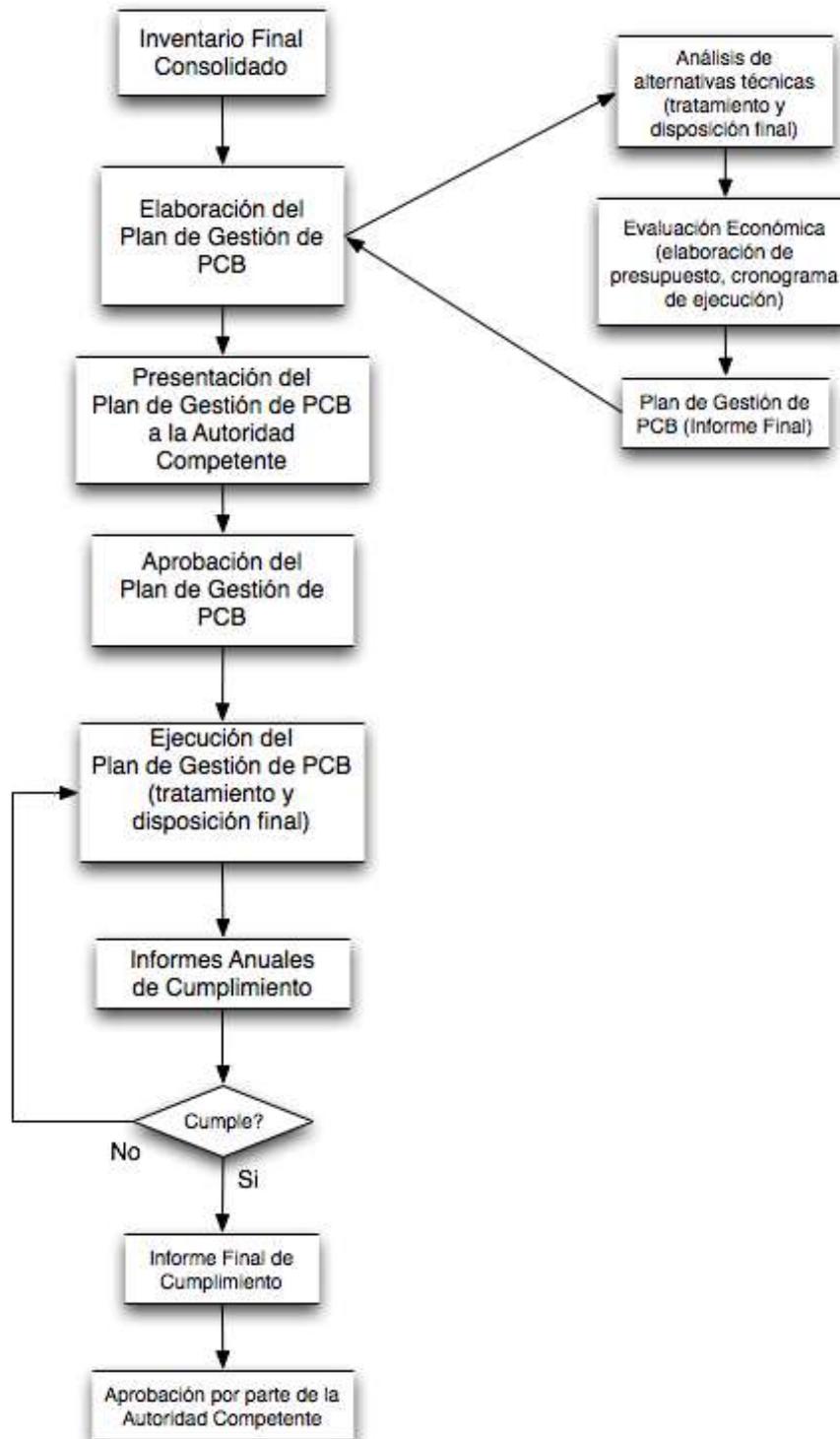


Figura Nº 20: Secuencia de Gestión de Manejo de PCB de transformadores

Para realizar las operaciones de tratamiento/eliminación es necesaria la generación de depósitos transitorios o permanentes para el almacenamiento de PCB, siendo ideal la presencia de depósitos permanentes, administrados por el estado o empresas eléctricas, y transitorios dentro de las empresas mineras. Los

depósitos permanentes deberán servir además para satisfacer las demandas de las empresas, según el sector al que correspondan incluyendo las mineras, y de otros poseedores dentro de la región o país, entendiéndose por región la zona de influencia cercana al depósito.

Estos depósitos deberán cumplir las recomendaciones previstas en la presente Herramienta. Si se desarrollaran tareas de tratamiento de PCB, es recomendable que se realicen dentro de instalaciones separadas y aisladas, con las medidas de seguridad previstas.

5.4.4.1 Transformadores de PCB puro

Estos equipos deben ser tratados por incineración de porosos y aceites en hornos pirolíticos aptos, y recuperación de metales por lavado con solventes.

Dependiendo de las capacidades, los países podrán incorporar tecnología de incineración, sufriendo en muchos casos de rechazo por parte de la opinión pública ante la instalación de estas instalaciones.

Una alternativa intermedia consiste en la instalación de una planta de recuperación de metales, mediante limpieza en autoclave y exportación de materiales porosos, aceite y colas de destilados ricos en PCB.

Este tipo de plantas pueden ser incorporadas como instalaciones fijas o bien realizar los trabajos en instalaciones de los poseedores o en depósitos transitorios.

5.4.4.2 Transformadores con aceite mineral más de 1%

Estos equipos se consideran en general en forma similar a los equipos de PCB puro, ya que las tareas de descontaminación y recuperación resultan muy costosas, y no hay referencias que los equipos puedan ser descontaminados de tal forma que los porosos internos presenten concentraciones inferiores a 50 ppm luego del fin de su vida útil.

5.4.4.3 Transformadores entre 50 y 10.000 ppm

Dentro de estos equipos pueden diferenciarse entre aquellos equipos que pueden recuperarse eléctricamente y aquellos que no pueden recuperarse y llegan al final de su vida útil.

En todos los casos, el aceite puede ser tratado por tecnologías de decloración y destrucción de PCB en instalaciones dentro de los países, de tal forma de minimizar costos.

Para la recuperación de transformadores es necesario el rellenado de los mismos con aceite libre de PCB.

Transformadores en este grado de contaminación puede encontrarse dentro de instalaciones eléctricas en empresas distribuidoras, industriales y otros poseedores estatales o privados de transformadores de tensión.

Una planificación de instalaciones que combinen declorinación y retrolenado de transformadores permite una gestión eficiente y racional, con recuperación de equipos eléctricos y disminución de costos.

5.4.4.4 Capacitores con más de 50 ppm

Como la determinación del contenido de PCB en el aceite requiere la rotura de la carcasa del equipo, no es posible la recuperación de los mismos. En estos casos es posible el desarme y tratamiento del líquido y recuperación de metales. Debido a la complejidad de estas operaciones y los riesgos de pérdidas, se recomienda la adopción de una planta de tratamiento adecuada, o bien el transporte transfronterizo de los equipos para la disposición final.

5.4.4.5 Balastros, capacitores pequeños, componentes eléctricos o electrónicos que contengan PCB

En caso de determinarse la presencia de PCB, en general se trata de aislantes con altas concentraciones. Se deberá realizar el tratamiento de eliminación por incineración u otra tecnología que amerite el tratamiento de PCB puro, bien en instalaciones nacionales aprobadas o mediante exportación y transporte transfronterizo de desechos peligrosos.

5.4.4.6 Residuos oleosos provenientes de cambios de aceite, muestras de laboratorio

Si estos residuos consisten en aceites, podrán tratarse por declorinación o incineración dependiendo de las concentraciones que se obtengan, en forma similar al aceite extraído de los transformadores. Es necesario, en muchos casos, la asistencia estatal en cuanto al almacenamiento y tratamiento, ya que puede darse la presencia de pequeños generadores que no tengan la capacidad de contratación de servicios y deba recurrir a un centro de tratamiento o depósito para poder realizar la GAR.

Se deberá contemplar la posible presencia de otros compuestos, ya que al tratarse de residuales puede encontrarse que los mismos presenten sólidos (absorbentes, trapos, estopas, etc.), solventes, o agua libre, que pueden poner en riesgo otras operaciones y requerir procedimientos específicos de separación y tratamiento.

5.4.4.7 Residuos líquidos de solventes orgánicos

Estos pueden ser: Percloroetileno, isoctano, hexano y otros, provenientes de operaciones de lavado de equipos, y materiales, análisis, limpieza de instalaciones, entre otros.

Estos residuales son normalmente incinerados como residuos de procesos, ya que pueden presentar dificultades de tratamientos fisicoquímicos (por ejemplo declorinación) debido a diversos factores, entre ellos la volatilidad o presencia de compuestos clorados, que generan agotamiento de reactivos declorinantes, carbones activados, ebullición a bajas temperaturas. Es necesario que los mismos sean envasados en recipientes adecuados; en este caso puede darse que los generadores tengan cantidades que requieran el envío a almacenes transitorios previo a la eliminación conjunta con otros pequeños poseedores.

5.4.4.8 Agua residual con contenido de PCB

Estas aguas pueden provenir de operaciones de tratamiento, limpieza de instalaciones, acumulación de agua de lluvia o escorrentías de depósitos o instalaciones con PCB, medios naturales contaminados, entre otros. Si los volúmenes son pequeños, lo más adecuado consiste en filtrar el líquido con carbón activado, que posee una gran capacidad de adsorción. El carbón activado agotado deberá ser dispuesto como residuo sólido contaminado con PCB.

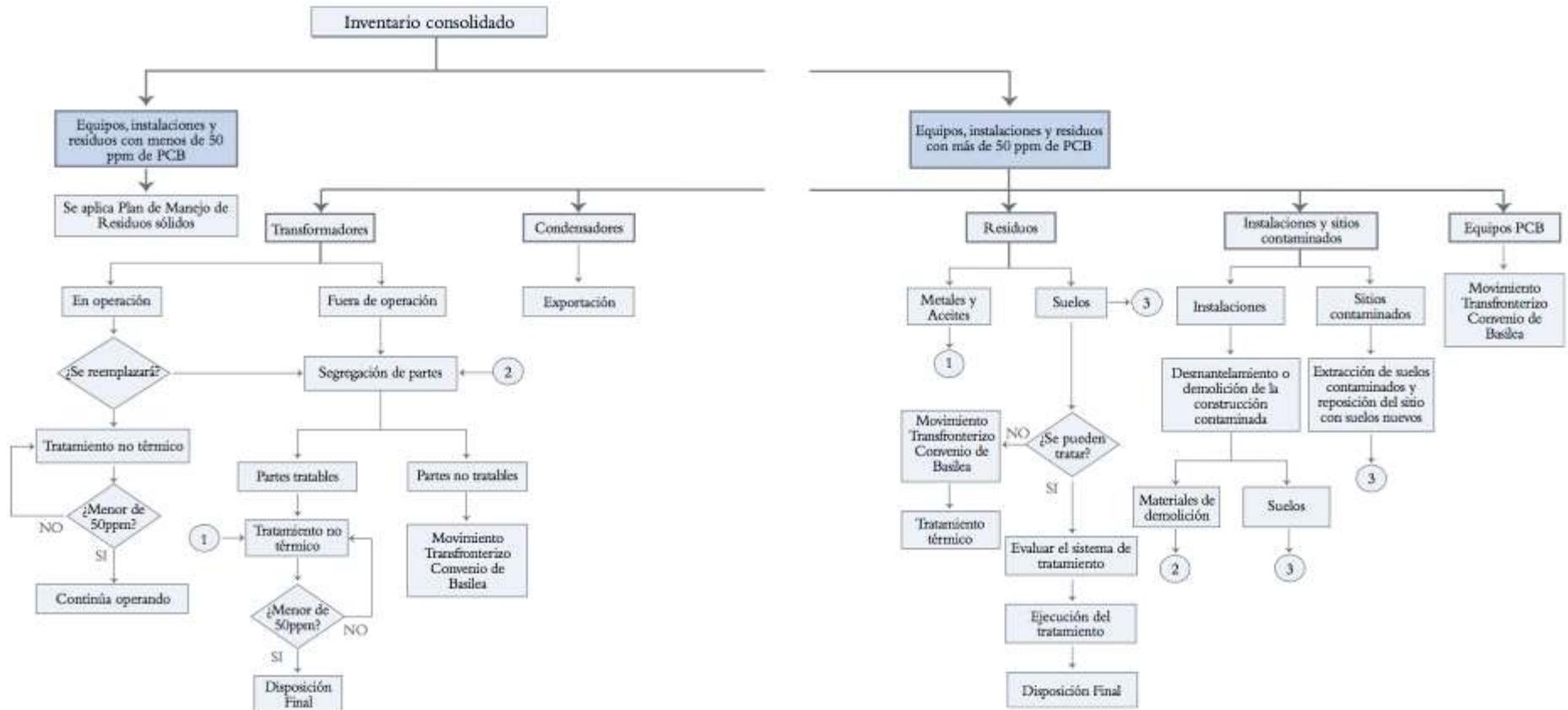
5.4.4.9 Superficies o materiales con PCB, producto de eventos de contaminación o por usos abiertos de PCB

El tratamiento de estos elementos contaminados requerirá de técnicas específicas de remoción del PCB. En general, el tratamiento de éstos generará residuales que podrán ser asimilados a otros ítems analizados en esta subsección. Por ejemplo, si se decide la demolición de estructuras o eliminación mecánica de superficies, se generarán residuos sólidos con contenidos de PCB. Si en cambio se procede a una limpieza de una superficie no porosa con solvente, probablemente se generen residuos de solventes con contenido de PCB y/o sólidos (trapos, estopas, absorbentes) contaminados con PCB. En todos los casos, estos residuales deberán someterse a las recomendaciones del presente documento para la gestión ambientalmente racional.

5.4.4.10 Residuos sólidos impregnados en PCB, sin líquidos libres.

Entre estos residuos pueden citarse equipos de protección personal, absorbentes de derrames, eliminación de aplicaciones abiertas, restos de demolición. Estos residuos podrán ser sometidos a procesos de extracción con fase líquida y concentración, o bien ser eliminados directamente como sólidos residuales. Debido a la diversidad de materiales que puedan ser soporte contaminado de PCB, se deberá adoptar medidas particulares, sirviendo como proceso de uso general la incineración de PCB.

La siguiente Figura N° 21 presenta la metodología aplicable para la disposición final de distintos elementos que posean o se encuentren contaminados con PCB, a partir de lo que sea determinado en los inventarios consolidados que efectúen las empresas.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 21: Metodología para la disposición final de elementos contaminados con PCB

6 Bibliografía

- BCDgroup. (1 de 1 de 2011). *Demolition contractors*. Recuperado el 16 de 07 de 2013, de <http://www.bcdgroup.com.au>
- Carpenter, D. (2006). Polychlorinated Biphenyls (PCB): Routes of exposure and effects on Human Health. *Reviews on Environmental Health* , 1.
- CAT NO En 47-310/1986E. *Handbook on PCB in electrical equipment. (third edition)*, ISBN 0-660- 12754.
- CONAMA. (2009). *Tecnologías de Eliminación de PCB*. Santiago de Chile.
- Deheza, J. F., & Musache, P. (2005). *Tratamiento de Descontaminación, Reparación y Disposición Final de Transformadores Contaminados con PCB's* . Buenos Aires: Congreso Internacional sobre Medio Ambiente y la Industria Energética - CIMAIE 2005 .
- Dexsil Corporation. (2001). *L2000DX User's Manual*. Hamden.
- Dobson, S. v. (1993). *Environmental Health Criteria 140: Polychlorinated Biphenyls and Terphenyls, 2d ed.* Geneva, Switzerland; World Health Organization, International Programme on Chemical Safety (IPCS).
- Durfee, R. L. (1976). *Production and usage of PCBs in the United States*. Chicago.
- Ekokem (Dirección). (2005). *Planta de incineracion de PCB* [Película].
- EPA. (1976). National Conference on Polychlorinated Biphenyls, November 1975. 106.
- EPA. (3 de Abril de 2013). *Polychlorinated Biphenyls (PCBs)*. Obtenido de Aroclor and Other PCB Mixtures: <http://www.epa.gov/osw/hazard/tsd/pCBS/pubs/aroclor.htm>
- Erickson, M. D. (1997). *Analytical Chemistry of PCBs*. CRC Press.
- Gunt Hamburg. (16 de 01 de 2005). *Ingenieria de procesos térmicos*. Recuperado el 16 de 07 de 2013, de Ingenieria de procesos térmicos: http://www.gunt.de/download/absorption_spanish.pdf
- International Agency for Research on Cancer. (01 de 01 de 2013). *Word Health Organizarion*. Recuperado el 20 de 07 de 2013, de IARC Monographs on the Evaluation of Cancerinogenic Risks to Humans: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsGroupOrder.pdf>
- International Programme on Chemical Safety. (1993). *Polychlorinated Biphenyls and Terphenyls*. Geneva: IPCS.

IPCS - Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas. (1992). *Criterios de Salud Ambiental 140: bifenilos policlorados y terfenilos policlorados*. Ginebra: PNUMA. OTI y OMS.

Kanden. (1 de 1 de 2004). *Actividades de medio ambiente*. Recuperado el 15 de 7 de 2013, de <http://www.kanden-eng.co.jp/products/kankyoindex.html>

Mario Mendoza - Minpetel S.A. (2010). *Procedimiento de Control y Vigilancia de Equipos y residuos con PCB en el Sub Sector Eléctrico*. Consultoría realizada para OSINERGMIN, Lima.

Mendoza, M. (2012). *Diagnóstico sobre el manejo de PCB en el sector minero y empresas proveedoras de servicios*. Lima: Proyecto CRBAS - FMAM/PNUMA "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano".

Mendoza, M. (2012). *Inventario físico de aplicaciones cerradas de PCB*. Lima: Proyecto CRBAS - FMAM/PNUMA "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano".

Mendoza, M. (2010). *Procedimiento de Control y Vigilancia de Equipos y Residuos con PCB en el Sub Sector Eléctrico*. Lima: OSINERGMIN.

Mendoza, M. (2012). *Procedimiento de manejo del PCB durante el mantenimiento de equipos*. Estudio laborado para el Proyecto CRBAS - FMAM/PNUMA "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano".

Ministry of the Environment of Japan. (2004). *Report on study of the treatment standards for POPs waste in fiscal year 2003*. Tokyo: Ministry of the Environment of Japan.

Naciones Unidas. (2005). *Directrices técnicas para la gestión ambientalmente racional de los contaminantes orgánicos persistentes elaboradas en el marco del Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación*. Punta del Este: Naciones Unidas.

Naciones Unidas. (2011). *Transporte de Mercancías Peligrosas - Reglamentación Modelo*. Ginebra: Naciones Unidas.

Neumeier, G. (1998). The technical life-cycle of PCBs. *Subregional Awareness Raising Workshop on Persistent Organic Pollutants (POPs)*. Kranjska Gora, Slovenia.

Ortiz, A. (2010). Los inventarios de Bifenilos Policlorados (PCB) en America Latina y el Caribe: Un reto. *PEN*, 62-65.

PNUMA. (2004). *Inventory of Worldwide PCB Destruction Capacity*. Châtelaine, Geneva, Switzerland.

PNUMA. (2002). *Transformadores y condensadores con PCB: desde la gestión hasta la reclasificación y eliminación*. Switzerland.

Posada Lopera Eliana, A. C. (26 de 03 de 2006). *PURIFICATION OF MINERAL INSULATING OIL CONTAMINATED WITH POLYCHLORINATED BIPHENYLS (PCB's)*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532006000300007

Proyecto CRBAS - FMAM/PNUMA "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano". (2011). *Herramienta para Toma de Decisiones - Gestión de PCB en la Industria Minera*. Buenos Aires.

Proyecto GEF/PNMA N° GFL-2328-2761-4747. (2006). *Inventarios Nacional de Bifenilos Policlorados*. Lima: DIGESA.

SENASA, DIGESA y CONAM. (2006). *Inventario Nacional de Bifenilos Policlorados (PCB)*. Lima: Proyecto PNI-COP.

The Interstate Technology & Regulatory Council In Situ Chemical Oxidation Team. (2005). *Technical and Regulatory Guidance for In Situ Chemical Oxidation of Contaminated Soil and Groundwater*. Washington.

UNECE. (2011). *Recomendaciones Relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas*. Genova: Decimotercera edición revisada de United Nations Economic Commission for Europe.

UNEP - IOMC. (2002). *Transformadores y condensadores con PCB: desde la gestión hasta la reclasificación y eliminación*. Châtelaine: PNUMA.

UNEP. (1999). *Guidelines for the Identification of PCBs and Materials Containing PCBs*. Châtelaine.

UNEP. (1995). *Technical Guidelines on Specially Engineered Landfill*. CE.

Urs Wagner, M. M. (2010). *Project Identification to Best Practices for PCB management in the mining sector of South America*. Ginebra: UNEP.

Verman EIRL. (2005). *Guía para el Manejo Ambiental de equipos, Materiales y Residuos con PCB en el subsector eléctrico*. Lima: OSINERGMIN.

Viviana, Y. C. (2012). *Guía para la toma de muestras de aceite para posterior análisis de PCBS*. Bogotá.

Wagner, U. (2010). Producción y Uso de PCB. *PEN Magazine*, 9.

Whyllie, P. (2010). Producción, uso y toxicidad de los bifenilos policlorados Los PCB ¿las sustancias perfectas? *PEN Red para Eliminación de los PCB*, 4.

Whyllie, Paul & Warmuth, Andrea. (2010). Producción, uso y toxicidad de los Bifenilos Policlorados. *PEN Magazine*, 4.

7 Anexos

7.1 Anexo N° 1: Marco Legislativo de PCB en el Perú

7.1.1 Marco Legislativo Internacional

7.1.1.1 *Convenio de Basilea*

El Convenio sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación, al cual se le denomina comúnmente “Convenio de Basilea” del cual el Perú es Parte, fue aprobado mediante Resolución Legislativa N° 26234 del 13 de Octubre de 1993 que entró en vigencia en febrero de 1994.

Este Convenio es un instrumento jurídico global relativo al Manejo Ambientalmente Racional (MAR) de desechos peligrosos, incluidos los PCB, y el control de sus movimientos transfronterizos.

7.1.1.2 *Convenio de Estocolmo*

El Convenio sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes o “Convenio de Estocolmo” fue suscrito por el País el 23 de Mayo del 2001, ratificado con D.S. N° 067-2005-RE de fecha 12 de agosto del 2005 y el cual entró en vigor en diciembre del 2005.

Regulaciones para el manejo de PCB en el Convenio de Estocolmo.

El Convenio de Estocolmo en su Parte II estipula ciertos compromisos que debe cumplir el país en el tiempo estableciendo una gradualidad relacionada con la cantidad o contenido de PCB que poseen los equipos y residuos. Este compromiso precisa en primera instancia la eliminación de todo equipo PCB hasta el 2025, así como la gradualidad para la identificación, etiquetado y retiro de uso de todo equipo PCB en función a la concentración (más de un 10% de PCB y volúmenes superiores a 5 litros) en los mismos, precisa también restricciones y condiciones de utilización y que además que para los residuos (desechos) PCB esta eliminación deberá hacerse hasta el 2028, comprometiendo en este esfuerzo a involucrar además otros residuos con un contenido de más 50 ppm de PCB. Todas estas acciones deben informarse a la Conferencia de las Partes cada cinco años.

7.1.1.3 *Convenio de Róterdam (Convenio PIC)*

Para el Convenio de Róterdam sobre el Consentimiento Fundamentado Previo (CFP) el Perú también es país Parte de este Convenio, adoptado en 1998 y aprobado mediante Resolución Legislativa N° 28417 del 24 de noviembre de 2004. En este sentido, este convenio, se convierte en un instrumento de carácter jurídico vinculante al haberlo ratificado mediante Decreto Supremo N° 058-2005-RE del 12 de agosto de 2005.

7.1.2 Marco Legislativo Nacional

Los PCB en la legislación nacional, no tienen un marco específico normativo, existen algunos instrumentos legales que nos permiten definir como un marco normativo general e incipiente. Sin embargo se debe reconocer que el Perú cuenta con la legislación internacional mencionada de carácter vinculante, de donde se desprenden obligaciones y derechos para los involucrados con la gestión y manejo de sustancias químicas y de sus residuos en general, dentro de las cuales se encuentran los PCB.

La Legislación Nacional disponible se describe a continuación:

- Constitución Política del Perú (1993), la norma legal de mayor jerarquía en nuestro país por lo que se le conoce como la Carta Magna, que destaca el derecho de la persona humana a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida.
- Ley General de Salud - Ley 26842, (15/07/1997). En los artículos 96° al 99° establece los lineamientos preventivos, en el manejo de sustancias y productos peligrosos a lo largo de su ciclo de vida. En los artículos 100° al 102° establece los lineamientos preventivos para la higiene y seguridad en los ambientes de trabajo. En los artículos 103° al 107° establece los lineamientos para la protección del ambiente así como la obligatoriedad del estado, personas naturales y jurídicas al respecto.
- La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 (15/10/2005). Establece que las instalaciones para la fabricación, procesamiento o depósito de sustancias químicas peligrosas explosivas deben estar ubicadas en áreas industriales, según el criterio de zonificación aprobado por el gobierno local (art. 23°). El art. 83° establece las disposiciones para el control de sustancias químicas y establece la responsabilidad del generador con respecto a la gestión de residuos peligrosos.
- Ley General de Residuos Sólidos – Ley N° 27314 (21/07/00) que establece las obligaciones y responsabilidades de los generadores de residuos, así como de las empresas encargadas de su manejo. Establece también los derechos y atribuciones de la sociedad en su conjunto para asegurar una gestión adecuada de los residuos sólidos peligrosos y no peligrosos en forma sanitaria y ambiental. En esta norma no se involucran los residuos líquidos, que se contemplan recién con la promulgación del Reglamento respectivo.
- Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos - D. S. N° 057-2004-PCM (22/07/2004). contiene una normativa relativa a los PCB, en virtud de la Ley General de Residuos Sólidos. Esta norma incluye los residuos de aceites y solventes industriales en su Novena Disposición Complementaria, Transitoria y Final, por lo tanto esta ley establece la gestión ambientalmente racional y segura de dichos residuos líquidos peligrosos por parte de compañías registradas (EPS-RS o EC-RS). Dichas compañías deben ser autorizadas por DIGESA para el tratamiento y la disposición final de PCB hasta que entre en vigencia una ley específica. Estos residuos contaminados con PCB están enumerados en el Anexo 4, Lista A: Residuos peligrosos, 3.18, “residuos y

materiales que son, contienen o están contaminados con bifenilos policlorados (PCB), trifenilos policlorados (PCT), naftalenos policlorados (PCN) o bifenilos polibromatos (PBB), u otros polibromatos análogos cuya concentración sea superior a 50 mg/kg”.

- Reglamento para la protección ambiental en la actividad minero - metalúrgica - D.S. N° 016-93-EM, (01/05/93) en el Anexo N° 1 INFORME SOBRE GENERACION DE EMISIONES Y/O VERTIMIENTOS DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA MINERO-METALURGICA, hay un acápite específico para declarar los residuos industriales con contenido de PCB y detalles de su disposición final.
- Ley de Concesiones Eléctricas – Decreto Ley N° 25844 (19/11/92), regula las actividades relacionadas con la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica. También señala que el Estado previene la conservación del medio ambiente y del uso racional de los recursos naturales en el desarrollo de las actividades relacionadas con la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.
- Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas – Decreto Supremo N° 29-94-EM (08/06/94), que norma la interrelación de las actividades eléctricas en los sistemas de generación, transmisión y distribución, con el medio ambiente, bajo el concepto de desarrollo sostenible. En cumplimiento de su Anexo N° 2: Informe sobre la generación de emisiones y vertimiento de residuos de las actividades de la energía eléctrica, referidos a los residuos industriales las empresas deben declarar obligatoriamente, entre otros residuos peligrosos, los materiales que contienen PCB, indicando cantidades y otras características, al igual que la disposición final efectuada.
- Ley N° 28256, Ley para el Transporte de Materiales y Residuos Peligrosos (19/06/2004), que promulga las disposiciones generales para el transporte de residuos peligrosos y por lo tanto aplicable a los residuos de PCB.
- Reglamento de la Ley 28256, D.S. N° 021-2008-MTC, (10/06/2008), por el que se Aprueba el Reglamento Nacional de Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos, por el cual se establecen las normas y procedimientos que regulan las actividades, procesos y operaciones del transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos, con sujeción a los principios de prevención y protección de las personas, del ambiente y de la propiedad, que incluye los PCB.
- Reglamento para la protección ambiental en la actividad minero-metalúrgica - Decreto Supremo N° 016-93-EM, (01/05/93).- En el Anexo 1 - INFORME SOBRE LA GENERACIÓN DE EMISIONES Y/O VERTIMIENTOS DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA MINERO- METALÚRGICA, incluye un apartado específico para la declaración de residuos industriales que contienen PCB, y detalla su disposición final.
- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua - D. S. N° 002-2008-MINAM (30//07/2008). Señala dentro de la categoría de agua superficial destinada a la obtención de agua potable: Clase A1 0,000001 mg/L, Clase A2 0,000001 mg/L, hasta Clase A3; y Clase B1 y Clase B2 (para agua superficial destinada a la recreación).

Como se observa el marco jurídico es de carácter general por lo que a este conjunto de normas se le suma la necesidad de contar con una normatividad reglamentaria específica para la Gestión de los PCB, siendo el presente diagnóstico un referente técnico para el desarrollo de prácticas ambientales y seguras sobre los Equipos, Materiales y Residuos con PCB del Subsector Minero, Eléctrico y en general para las actividades eléctricas relacionadas.

7.1.3 Vacíos

- No existe norma legislativa que prohíba la comercialización de equipos, materiales, fluidos o elementos que contengan PCB de manera que no fuera debidamente autorizada (como el caso de exportaciones para disposición final).
- No existe la norma o procedimiento específico que prohíba el uso de equipos nuevos que contengan PCB.
- No existen procedimientos que acrediten los certificados de “libre de PCB” a nivel nacional.
- No existe la reglamentación necesaria que permita lo siguiente:
 - Los propietarios de elementos que contengan PCB son responsables de su gestión, hasta su tratamiento o disposición final.
 - Obligación por parte de los propietarios de elementos que contengan PCB a mantener el control de concentración del contaminante y monitoreo de los elementos contaminados reportando a la Autoridad Competente periódicamente.
 - No existe la obligación establecida y procedimiento para elaborar y mantener un inventario de PCB.
 - Obligación por parte de los propietarios de PCB a elaborar y comprometerse a ejecutar un Plan de Gestión de PCB acorde con la reglamentación que se debe elaborar y los compromisos establecidos en la Convención de Estocolmo.
 - Procedimientos que viabilicen los tratamientos para reducir concentraciones a menos de 50 ppm, que no representen un riesgo.
- No se cuenta con manuales ni procedimientos técnicos y normativos para la conformación de capacidad analítica en el país, acreditación de entidades o empresas que tendrán a su cargo la detección, análisis, tratamiento o disposición final de elementos con PCB.

7.1.4 Traslapes

No se ha detectado ningún traslape o contradicción en las normas vigentes en aspectos de PCB en el Perú, de hecho éstas son incipientes y por ello no da lugar a conflictos normativos.

7.1.5 Riesgos derivados de la situación legislativa

Los riesgos que se derivan de la situación legislativa actual son:

- Nulo conocimiento de la cantidad, volumen, concentración y localización geográfica de las existencias con PCB en el país por parte de las Autoridades competentes y por parte de los propietarios de estos elementos.
- No hay una identificación de los sitios posiblemente contaminados por PCB y/o el desplazamiento del contaminante dentro del ecosistema.
- La investigación relacionada como una prioridad de trabajo a nivel institucional o académico es débil por no decir nulo en relación al tema.
- Las empresas que compran equipos nuevos como transformadores no solicitan certificados que indiquen “libre de PCB”, asimismo por desconocimiento no solicita un certificado libre de PCB si el equipo pasa por mantenimiento.
- Alto riesgo a la salud pública ya que se puede estar comercializando aceite dieléctrico sin el control de PCB respectivo. Usualmente el aceite que se comercializa como aceite usado puede ser utilizado inclusive para ser quemando en otras industrias formales o informales (calderas, ladrilleras, etc.) produciéndose contaminantes muy peligrosos como son dioxinas y furanos.
- Se puede estar produciendo dilución de aceites contaminados con alta concentración de manera voluntaria o involuntaria al no tener control ni conocimiento de la existencia de PCB en la industria minera y otras en general.
- No existe una base normativa que obligue la difusión, comunicación y participación de la comunidad en la prevención de riesgos ni respuesta a casos de emergencia con elementos contaminados con PCB.

7.2 Anexo N° 2: Listas de marcas comerciales con PCB por país

Producto	País
APIROLIO	(Italia)
AROCLOR	(Reino Unido, EE.UU.)
ASBESTOL	(EE.UU.)
ASKAREL	(Reino Unido, EE.UU.)
BAKOLA 131	(EE.UU.)
CHLOREXTOL	(EE.UU.)
CLOPHEN	(Alemania)
DELOR	(Checoslovaquia)
DK	(Italia)
DIACLOR	(EE.UU.)
DYKANOL	(EE.UU.)
ELEMEX	(EE.UU.)
FENCLOR	(Italia)
HYDOL	(EE.UU.)
INTERTEEN	(EE.UU.)
KANECLOR	(Japón)
NOFLAMOL	(EE.UU.)
PHENOCLOR	(Francia)
PYRALENE	(Francia)
PYRANOL	(EE.UU.)
PYROCLOR	(EE.UU.)
SAFT-KUHL	(EE.UU.)
SOVOL	(U.R.S.S.)
SOVTOL	(U.R.S.S.)

Fuente: (UNEP - IOMC, 2002)

7.3 Anexo N° 3: Empresas fabricantes de transformadores que utilizaban PCB

7.3.1 USA

- Westinghouse
- General Electric Company
- Research-Cottrell
- Niagara Transformer Corp.
- Standard Transformer Co.
- Helena Corp.
- Hevi-Duty Electric
- Kuhlman Electric Co.
- Electro Engineering Works
- R.E. Uptegraff Mfg. Co.
- H.K. Porter
- Van Tran Electric Co.
- Esco Manufacturing Co.

7.3.2 GERMANY

- AEG (Divisions in Germany)
- Type designation- The letter C followed by a 3 or 4 digit number stating the power rating.
- Trafo Union (TU)
- Type designation – The letters TC followed by 4 digits.
- Some may have the same designations as AEG transformers.

Fuente: (S. Dobson, 1993), (Durfee, 1976) (UNEP, 1999)

7.4 Anexo N° 4: Condensadores que pueden contener PCB

Commercial Product Name or Company Name	Production Dates ¹⁴
ASEA and SIEVERTS	
Shunt series capacitors; furnace capacitors. Type designations: CHA, CHF, CTDA, CKTA, CR, CRS, CPNI, CHX	
High frequency capacitors. Type designations: CHF-31, CVF-31, CVFA, CTVA, CVGA	
Low voltage capacitors. Type designations: CLD, CLFA, CRA, CRK, CRKS, CLEO1, CLD01	
Special capacitors Type designations: CLFL, CRU, CUD, CVH, HMRV	
SIEMENS (Divisions in Germany)	
1950-1975	
All power capacitors for 50 Hz and rated over 1 kV (year given by first two digits following the letter D of manufacturing number)	
Low voltage capacitors Type designations: CO, CD, 4RA, and 4RL	
NOKIA	
Low voltage capacitors (year given by first two digits in manufacturing number) and: Two letter type designation; or A, D, E, I, O, or U as a third letter in the type designation	1960-1976
High voltage: Two letter type designation; or I, K, O, P, S, U, or V as a third letter in the type designation	1960-1978
SPRAGUE (USA)	
Capacitors marked Chlorinol	
AEG or Hydrowerk (Divisions in Germany)	
Units with impregnation fluid marked as: Clophen 5 CD, 4 CD, 3 CD	
ACEC	
High voltage capacitors Type designation: CAN 50	
NATIONAL INDUSTRY	
High voltage capacitors	
Type designation: FPF-U 2C-20100A03	
GENERAL ELECTRIC (USA)	
High voltage capacitors	
Type designation: UNIFILM 100	
WESTINGHOUSE (USA)	
High voltage capacitors	
Type designation: DV	
LILJEHOLMEN	
Low voltage capacitors	
Type designation: DRA	
AEROVOX (USA)	
UNIVERSAL MANUFACTURING CORP. (USA)	
SPA "CONDENSATOR" (Russian Federation)	
Capacitors	
Type designation: KSK	Through 1988
CORNELL DUBILIER (USA)	
P.R. MALLORY & CO., INC. (USA)	
SANGAMO ELECTRIC CO. (USA)	
ELECTRIC UTILITY CO. (USA)	
CAPACITOR SPECIALISTS (USA)	
JARD CORP. (USA)	
YORK ELECTRONICS (USA)	

¹⁴ Las fechas solamente muestran el periodo de producción de los productos. Productos que pueden haber sido vendidos después de su producción, reusados o mezclados con otros productos que no contenían PCB produciéndose la contaminación cruzada.

Commercial Product Name or Company Name	Production Dates ¹⁴
MCGRAW-EDISON (USA)	
RF INTERONICS (USA)	
AXEL ELECTRONIC, INC. (USA)	
TOBE DEUTSCHMANN LABS (USA)	
CINE-CHROME LAB, INC. (USA)	

Fuente: (UNEP, 1999)



7.5 Anexo Nº 5: Descripción del software para el Sistema de Control y Vigilancia de Equipos y Residuos con PCB

7.5.1 Introducción.

Este documento describe resumidamente los Requisitos de Software del Sistema de Información, Control y Vigilancia de PCB.

7.5.2 Propósito

Implementar una herramienta que permita configurar el inventario y se llevará el control y evaluación del cumplimiento para efectos de fiscalización. La herramienta permitirá el almacenamiento de todos los datos necesarios para el análisis y reporte de resultados.

7.5.3 Descripción General y requerimientos del software

El software que permita el Control y Seguimiento de PCB debería contar con las siguientes características generales.

- Los usuarios del software son: El Fiscalizador (funcionario del Estado) y La Empresa (que es el profesional o funcionario que utilizará el software en las empresas propietarias de existencias o residuos con PCB).
- El software correrá en el ámbito de la Internet, con la finalidad de que haciendo uso de una identificación de usuarios y clave de acceso, permita a las empresas propietarias de existencias o residuos con PCB ingresar datos en línea.
- Este ingreso de datos deberá ser realizado cada semestre dando acceso a La Empresa un periodo de 30 días para este fin. El Fiscalizador no tendrá este límite de periodo de acceso.
- El envío de información podrá ser por transferencia de una Base de Datos previamente elaborada por la empresa con el formato que se indica en el presente procedimiento en cualquiera de los formatos que se indican (*. DB, *.xls)
- El envío de información en línea podrá ser digitalizando directamente en línea (formatos de pantalla) o enviando archivos de base de datos que el software podrá incorporarlos o importarlos. El manual del programa determinará los formatos que se pueden utilizar para el envío de base de datos en bloque.
- La Empresa podrá ingresar los datos semestralmente digitalizando los datos directamente sobre una copia de los reportados en el semestre anterior pudiendo hacer las correcciones o actualizaciones de los registros.
- La Empresa tendrá acceso sin restricciones para lectura de información u obtener reportes, según los requerimientos que se mencionarán más adelante.
- El Fiscalizador tendrá acceso libre para leer los registros, los cuales no podrá modificarlos.

- El Fiscalizador podrá obtener los reportes, según los requerimientos que se mencionarán más adelante.
- El software será capaz de aplicar los criterios cualitativos y cuantitativos para agrupar los registros de la forma que el órgano fiscalizador diseñe y que permita el seguimiento de La Empresa en base a indicadores de comportamiento.

7.5.4 Descripción General

Catálogo de actores

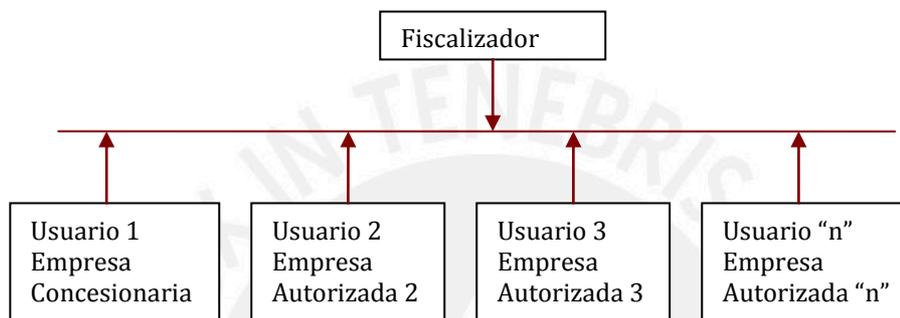


Figura N° 22: Diagrama de actores del sistema

7.5.5 Paquete Principal

El paquete principal estará preparado para registrar los datos de las Empresas, el Representante legal de la empresa, el Responsable del inventario de PCB.

El sistema será capaz de registrar los Ítems (equipos, materiales o residuos e instalaciones), seleccionarles y catalogarlos según análisis cualitativos para luego agruparlos en tres grandes clases:

- Ítems con ALTO RIESGO DE CONTAMINACIÓN.
- Ítems con RIESGOS EN MENOR GRADO DE CONTAMINACIÓN.
- Ítems LIBRES DE PCB.

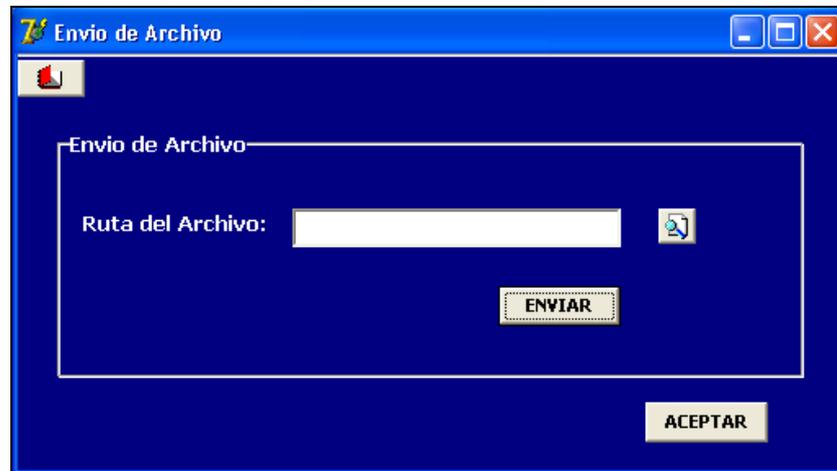
Luego de culminado el periodo de carga de la Base de Datos, se realizará análisis de datos con fines de fiscalización y finalmente su actualización (de la base de datos) y mantenimiento de información. Este paquete contiene los casos para mantenimiento y actualización de información general así como los cambios de estado de las existencias y residuos con PCB.

Este paquete también mostrará los Reportes, Índices de Gestión, generar lista de fiscalización y verificación de análisis y los relativos a la seguridad del sistema y asignación de derecho a los usuarios.

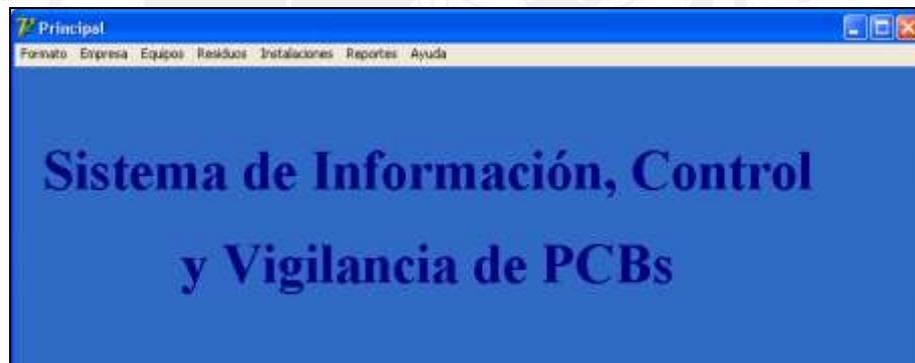
7.5.6 Desarrollo del Sistema

Las características más importantes del Software en las acciones de registro de Ítems, Reportes y Reporte de Índices se muestran a continuación:

7.5.7 Envío de Información



En el caso de no desear el “Modo envío” se puede seleccionar el “Modo Interactivo”. Cuando se selecciona esta opción, se activa las pantallas de ingreso de información en línea.



A continuación se muestra las ventanas a las cuales nos referimos:

76 Registrar Datos de la Empresa

Empresa

Nombre: <<Nombre de la Empresa>>

Dirección:

Departamento: [Seleccionar uno]

Provincia: [Seleccionar uno]

Distrito: [Seleccionar uno]

Teléfono: <<Teléfono>>

Fax: <<Fax>>

Dirección Electrónica: <<e mail>>

Portal Electrónico: <<Portal Electrónico>>

Actividad de la Empresa: [Seleccionar uno]

ACEPTAR

76 Registrar Datos del Representante Legal

Datos Personales

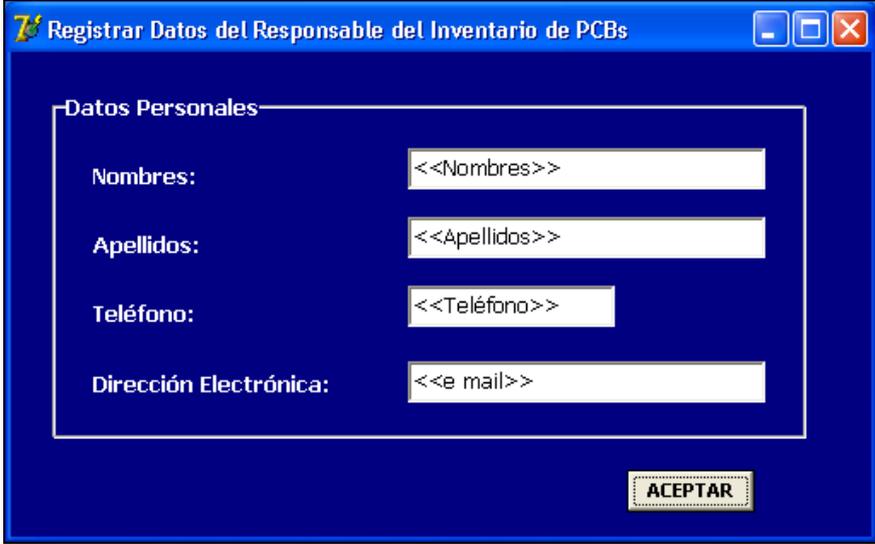
Nombres: <<Nombres>>

Apellidos: <<Apellidos>>

Teléfono: <<Teléfono>>

Dirección Electrónica: <<e mail>>

ACEPTAR



Registrar Datos del Responsable del Inventario de PCBs

Datos Personales

Nombres: <<Nombres>>

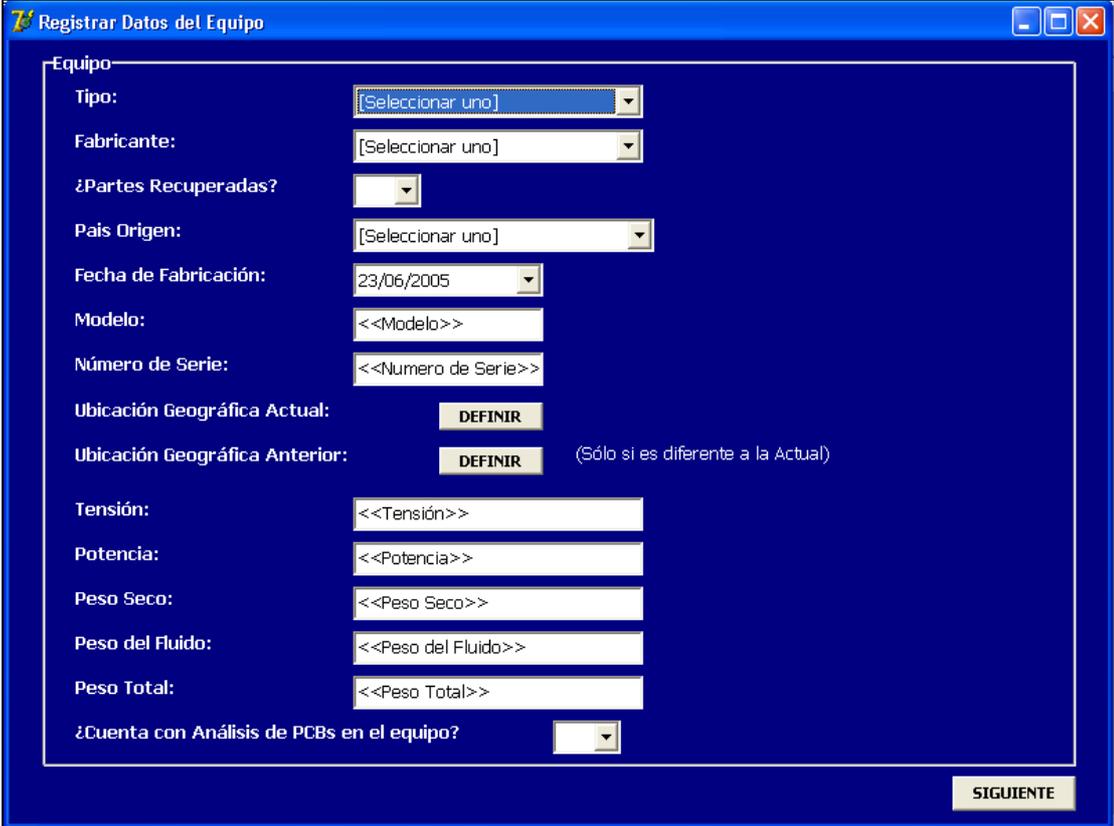
Apellidos: <<Apellidos>>

Teléfono: <<Teléfono>>

Dirección Electrónica: <<e mail>>

ACEPTAR

7.5.8 Registro de Existencias y residuos



Registrar Datos del Equipo

Equipo

Tipo: [Seleccionar uno]

Fabricante: [Seleccionar uno]

¿Partes Recuperadas? []

Pais Origen: [Seleccionar uno]

Fecha de Fabricación: 23/06/2005

Modelo: <<Modelo>>

Número de Serie: <<Numero de Serie>>

Ubicación Geográfica Actual: DEFINIR

Ubicación Geográfica Anterior: DEFINIR (Sólo si es diferente a la Actual)

Tensión: <<Tensión>>

Potencia: <<Potencia>>

Peso Seco: <<Peso Seco>>

Peso del Fluido: <<Peso del Fluido>>

Peso Total: <<Peso Total>>

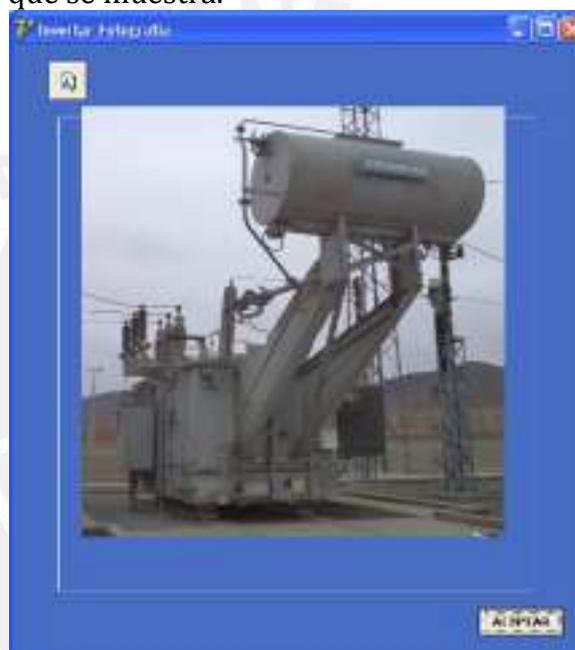
¿Cuenta con Análisis de PCBs en el equipo? []

SIGUIENTE

El ingreso de la información relacionado a las fechas será siempre a través de un calendario desplegable con la finalidad de uniformizar el formato de este campo.

Fecha de Fabricación:	23/06/2005
Modelo:	junio de 2005
Número de Serie:	lun mar mié jue vie sáb dom
Ubicación Geográfica Actual:	30 31 1 2 3 4 5
Ubicación Geográfica Anterior:	6 7 8 9 10 11 12
Tensión:	13 14 15 16 17 18 19
	20 21 22 23 24 25 26
	27 28 29 30 1 2 3
	4 5 6 7 8 9 10
	Hoy: 04/07/2005

Así mismo, se podrá acceder a ingresar la fotografía digitalizada del equipo a través de la interfaz que se muestra.



Finalmente para el caso de ingreso de la información de las condiciones de almacenamiento de las existencias y residuos se utilizará la pantalla siguiente anotando las condiciones que se sugieren a continuación

Condiciones de Almacenamiento

Marque una o varias opciones:

Condiciones de Almacenamiento

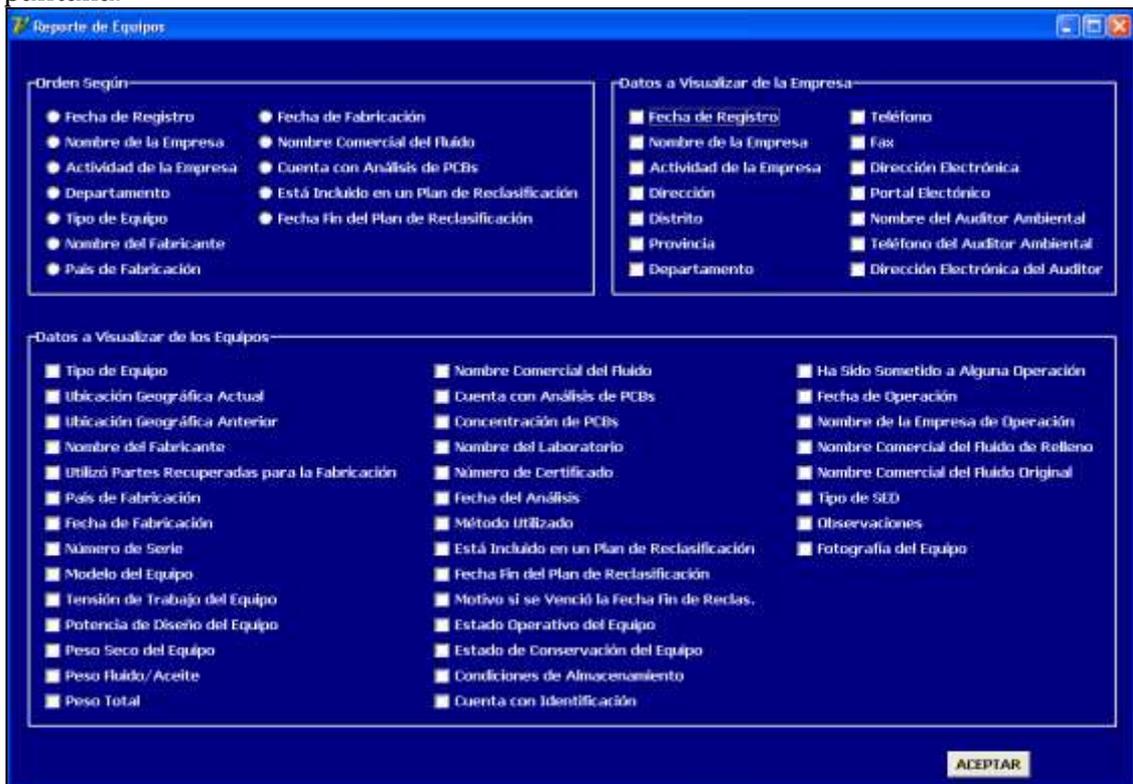
<input type="checkbox"/> Cubierto	<input type="checkbox"/> Piso de tierra
<input type="checkbox"/> Al aire libre	<input type="checkbox"/> Piso de cemento
<input type="checkbox"/> Recinto cerrado	<input type="checkbox"/> Almacenado con protección PCBs
<input type="checkbox"/> Recinto abierto	<input type="checkbox"/> Señalizado
<input type="checkbox"/> Control de acceso	<input type="checkbox"/> Cuenta con poza de seguridad
<input type="checkbox"/> Cerco de seguridad	<input type="checkbox"/> Cuenta con canaleta recolectora

ACEPTAR

En el Menú también se podrá seleccionar la opción de actualizar la Base de Datos “Modificar” para lo que se utilizará la siguiente pantalla donde se observa el listado de la base de datos donde se seleccionará aquel que se desea modificar.

7.5.9 Reportes

Cuando en el menú principal seleccionamos las opciones: “Reportes” y “General” se podrá elegir entre ver los reportes de equipos, materiales o residuos e instalaciones con la información que se requiera anotando los campos en la pantalla.



7.6 Anexo N° 6: Métodos analíticos para la determinación de PCB en diferentes matrices

Matriz de muestra	Método de preparación	Método analítico	Límite de detección de la muestra (LOD)	Porcentaje de recuperación	Referencia
Aceite Transformadores	-	Screening colorimétrico CLOR-N-OIL Método 9079 EPA SW-846	50 ppm	-	US EPA, 1996; UNEP Chemicals, IOMC, 1999
Aceite Transformadores	Extracción con hexano/acetona; "clean-up" en columna de Florisil; desulfurización si es necesario	GC/ECD	<1 µg/g	80-90	USEPA 2000 ATSM D 4059
Aire (ocupacional)	Adsorción en filtros de fibra de vidrio y Florisil; desorción de hexane	GC/ECD	0,0006 mg/m ³ para 50 L muestra	Sin datos	NIOSH 1984a (método 5503)
Aire	Adsorción en Agua-Florisil desactivado; desorción de hexano; perclorinación	GC/ECD	Sin datos	84-103 a 4-49 µg/m ³	Lin y Que Hee 1985, 1987
Aire	Adsorción en Florisil o Chromosorb 102 o Tenax GC o XAD-2; desorción de hexane	GC/ECD	10 µg/m ³ para 4 L muestra	>80 a 300 µg/m ³	Brownlow y Que Hee 1985
Aire ambiental	Recolección de muestras en filtros de fibra de vidrio y PUF cartridge; extracción Soxhlet; "clean-up" en columna de alumina	GC/ECD	>1 ng/m ³	36-94	EPA 1988b (método TO-4)
Aire ambiental (para congeners objetivo)	Recolección de muestras en filtros de fibra de vidrio y Trampa de XAD-2; extracción Soxhlet; "clean-up" y fraccionamiento en columna de adsorción	HRGC/MS	-	Sin datos	Hippelein et al. 1993
Agua (para congeners específicos)	Extraer usando SPE, SFE, CLLE; "clean-up" usando ácido sulfúrico y cromatografía	HRGC/HRMS	-	Sin datos	EPA 1999k (método 1668)
Agua potable	Extracción con hexano	HRGC/ECD	0,08-0,15 µg/L	84-97 (Agua potable)	EPA 1989c (método 505)
Agua potable y aguas subterráneas	Extracción con cloruro de metileno; intercambio de solvente a metil terbutil éter	GC/ECD o HRGC/ ECD	Sin datos	Sin datos	EPA 1989c (método 508)
Agua potable (examenación)	Extracción con cloruro de metileno; intercambio de solvente a cloroformo; perclorinación a Decaclorobifenil	GC/ECD o HRGC/ECD	0,14-0,23 µg/L	82-136 ng/g	EPA 1989c (método 508A)

Matriz de muestra	Método de preparación	Método analítico	Límite de detección de la muestra (LOD)	Porcentaje de recuperación	Referencia
Agua potable	Extracción en SPE cartridges o discos; elución con cloruro de metileno	HRGC/MS	0,045-0,24 µg/L	65-100	EPA 1987f (método 525)
Agua potable (para congeners específicos)	Muestra clavada con PCB marcados con 13C; Extracción con solvente de la muestra (agua y partículas filtradas); "clean-up" y fraccionamiento por cromatografía de adsorción	HRGC/HRMS	0,02-0,04 pg/L	Sin datos	Miyata et al. 1993
Lluvia Agua (para congeners específicos)	Pasar a través de filtros y resina XAD-2; extracción con solvente; "clean-up" en Florisil columna	HRGC/ECD bidimensional	<1-30 pg/L	79-83	Leister y Baker 1994
Aguas residuales	Extracción con cloruro de metileno; cambiado a hexano; "clean-up" en Florisil columna; remoción de sulfuro elemental si es necesario	GC/ECD	0,065 µg/L (PCB-1242)	88-96 at 25-110 µg/L	EPA 1982a, 1988b (método 608)
Aguas residuales	Extracción con cloruro de metileno	GC/MS	30-36 µg/L (PCB-1221, 1254)	77-80 at 5-2,400 µg/L	EPA 1982a (método 625)
Agua de lagos	Pasar a través de filtros de fibra de vidrio y XAD-2; Extracción Soxhlet; "clean-up" en alúmina y columna de sílica gel	HRGC/ECD	Sin datos	93	Swackhamer y Armstrong 1987
Agua de mar (para congeners específicos)	Recolección de partículas y agua filtrada en un sistema de Extracción-filtración presurizado; "clean-up" con hidróxido de sodio, alúmina, y columna de sílica	HRGC/ECD	0,1-3,0 ng/L	67-106	Kelly et al. 1993
Suelo, sedimentos, y otras matrices de muestra sólidas	Extracción con hexano/acetona; "clean-up" en columna de Florisil; desulfurización si es necesario	GC/ECD	<1 µg/g	Sin datos	EPA 1994f (método 8080A)c
Suelo, sedimentos, y otras matrices de muestra sólidas (para congeners específicos)	Filtrado y homogeneizado; Extraer usando extractor Soxhlet/Dean-Stark; "clean-up" usando ácido sulfúrico y cromatografía	HRGC/HRMS	Sin datos	Sin datos	EPA 1999k (método 1668)
Residuos sólidos	Extracción Soxhlet; ácido sulfúrico/	HRGD/ECD;	57-70 µg/kg (suelo)	62-125	EPA 1995c

Matriz de muestra	Método de preparación	Método analítico	Límite de detección de la muestra (LOD)	Porcentaje de recuperación	Referencia
(Arocloros o para congéneres)	Permanganato de potasio; "clean-up"	confirmación en segunda columna			(Método 8082)c
Residuos peligrosos	Extracción con hexano/acetona; "clean-up" en columna de sílica gel; desulfurización por cobre o mercurio si es necesario	HRGC/ECD	60-70 µg/kg	104-107 (para suelo)	Lopez-Avila et al. 1988
Suelo/sediment (bajos niveles)	Extracción con cloruro de metileno/acetona (1:1); "clean-up" por gel infiltración y columna de microalúmina	GC/ECD	80 µg/kg (Límite de cuantificación requerido)	Sin datos	EPA 1987a (CLP)b
Sedimento (para congeners específicos)	Extracción ultrasónica con acetona/hexano; Remoción con ácido sulfúrico; "clean-up" en Florisil; fraccionamiento por HPLC	HRGC/ECD	Sin datos	70-93	Fuoco et al. 1993
Sedimento	Extracción supercrítica de fluido; "clean-up" con mini-columna Florisil; Remoción de sulfuro	HRGC/ECD; confirmación por MS	Sin datos 90	Lee y Peart 1994	
Raspaduras de pinturas de automotoras	Extracción con 90% cloruro de metileno/10% metanol; "clean-up" en Columna de Florisil	HRGC/ECD	1 mg/kg	74-86	Welsh 1995
Ceniza volátil	Extracción Soxhlet; "clean-up" de columna opcional	GC/ECD o GC/MSSIM	Sin datos	80-100	Koan et al. 1994
Pez (para congeners específicos)	Extracción de homogeneizado tejido con éter de petróleo/ acetato de etilo; "clean-up" por cromatografía de infiltración de gel	HRGC/NICI/MS	0,2-3pg	65-115	Schmidt y Hesselberg 1992
Pez (para congeners específicos)	Homogeneizado; extracción en cloruro de metileno:hexano (1:1) usando extractor Soxhlet; "clean-up" usando ácido sulfúrico y Cromatografía	HRGC/HRMS	Ver tabla 7-1	Sin datos	EPA 1999k (Método 1668)
Pez, huevos de pez y aves (para congeners específicos)	Extracción de tejidos homogeneizados laminados con 13C-PCB con cloruro de metileno; remoción de lípidos por infiltración de gel o diálisis; "clean-up" por multicapas y cromatografía múltiple;	HRGC/ECD	0,1-0,73 ng/g (lípidos)	62-92	Schwartz et al. 1993

Matriz de muestra	Método de preparación	Método analítico	Límite de detección de la muestra (LOD)	Porcentaje de recuperación	Referencia
	Fraccionamiento por HPLC				
Vejiga de mamífero	Muestra de terreno; extracción con solvente; "clean-up" por micro-columna de Florisil	columna dual HRGC/ECD	30 µg/kg	95,2 (media)	Newman et al.
Animales marinos	Microextracción	GC/ECD	1 ng	95 (Aroclor 1254)	Wirth et al. 1994
Leche de vaca (para congeners específicos)	Mezclado de la muestra con oxalato de sodio y metanol, fortificada con PCBs marcados con ¹³ C; extracción con solvente; "clean-up" y fraccionamiento por carbono poroso y alumina	HRGC/MS	0,1-0,5 pg/g (grasa) para congeners de PCB tetra- a hexapara	50-60	Van der Velde et al. 1994
Huevos, pez	Extracción supercrítica de fluido combinada con separación por Florisil	GC/ECD	Sin datos	91-95	Alley y Lu 1995
Alimentos grasos	Extracción con solvente; partición líquido-líquido; "clean-up" en Columna de Florisil	GC/ECD	Sin datos	Sin datos	AOAC 1990

CLLE = continuous liquid/liquid extraction; ECD = electron capture detection; GC = gas chromatography; HPLC = high performance liquid chromatography; HRGC = high resolution gas chromatography; HRMS = high resolution mass spectrometry; MS = mass spectrometry; NICI/MS = negative ion chemical ionization mass spectrometry; ng = nanogram (10⁻⁹ g); pg = picogram (10⁻¹² g); PUF = polyurethane foam; SIM = selected ion monitoring; SFE= separatory funnel extraction; SPE = solid-phase extraction.

Fuente: Informe "Actualización de Inventario Nacional de PCB y tecnologías de eliminación" de la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), Chile. Diciembre 2009.

7.7 Anexo N°7: Muestreo de aceite dieléctrico

A continuación se desarrollará los procedimientos que se pueden aplicar para las actividades de muestreo en las matrices más comunes (aceite dieléctrico, suelos, agua y superficies), detección de PCB (mediante procedimientos del Clor-N-Oil® de 50 ppm y el Analyzer L2000DX®) y el análisis correspondiente mediante la cromatografía de gases.

7.7.1 Metodología de Muestreo en aceite dieléctrico

El procedimiento para realizar el muestreo de equipos que contienen aceite dieléctrico se deberá realizar teniendo en cuenta normas internacionales como ASTM D 923, ASTM D 6160, ASTM D 3613, IEC 61619, EPA 9079 y EPA 8082.

Material es y Equipos

Material es para toma de muestras

- Elementos de acoplamiento para válvulas del transformador.
- Frasco para la toma de muestra. Recomendable de vidrio y color ámbar de 20 ml.
- Bandeja metálica pequeña para recolección de derrames, fugas y elementos de limpieza.
- Material de señalización para aislar el ambiente de trabajo.
- Bolsas de plástico negro para residuos de waype o trapos con aceite dieléctrico.
- Herramientas para manipulación de válvulas del transformador (alicates, llaves inglesas, llaves francesas, etc.).
- Pedazo de manguera plástica, en caso de utilizar este material se debe usar una para cada muestra.
- Jeringa plástica de 50 ml.
- Llave de tres vías desechable. Se debe usar una para cada muestra
- Caja hermética para almacenamiento y transporte de las muestras.
- Solvente para limpieza de válvulas y en caso de derrames de aceite.
- Formulario para registro y control de muestras.
- Material absorbente para derrames de aceite.
- Marcador industrial negro de tinta indeleble
- Papel Absorbente para contener pequeños derrames, bolsa de 5 kg. Sería recomendable que en la instalación exista un kit de contención de derrames de aceite de mayor capacidad ya que se registran casos en que aflojando un grifo se raja una soldadura y se produzca una pérdida relevante.
- Bidón donde recolectar purga de grifos.
- Cinta teflón
- Solvente dieléctrico: mínimo 1 litro, para limpieza de herramientas.

Equipos de protección personal

- Mameluco de protección personal Tyvek.
- Mascara de protección para gases orgánicos.

- Guantes de nitrilo (Ansell Edmont 37-185 o similar). Se debe usar una para cada muestra.
- Botas dieléctricas.
- Casco de protección.
- Lentes de protección.

Toma de muestras

Para el caso de transformadores con válvula de drenaje en buen estado

Inicialmente debemos colocarnos todos nuestros equipos de protección personal como son overol, casco, lentes, máscara con cartuchos para material particulado y vapores orgánicos, guantes y otros según el riesgo que se presente.

1. Tomar los datos de placa del transformador de acuerdo los campos que se requiere según la Guía de la Herramienta para toma de Decisiones. Se deber llenar todo los campos que se requiere en el formulario, cuando no existen datos señalar con "ND" (No data) y especificar en el campo de observaciones las razones por las que no se registran estos datos.
2. Identificar en el transformador la válvula que presente las mejores condiciones para la toma de la muestra (por lo general en la parte inferior) y limpiar el orificio por donde fluirá el aceite; utilizar para esto papel absorbente y quitar la suciedad que puede tener la válvula.



Foto: Mario Mendoza

Figura N° 23: Toma de muestras utilizando bateas y EPPs recomendados

3. Colocar un recipiente en la parte inferior de la válvula para prevenir una contaminación del piso en caso de derrame.
4. Abrir suavemente la válvula del transformador y desechar el aceite normalmente queda atrapado en la válvula (para esto dejar fluir por unos cuantos segundos). Si se observa que tiene contenidos de lodos dejar fluir hasta que se elimine todos estos. Es importante que estos residuos sean recuperados en envases específicos los cuales deben ser considerados como fluidos riesgosos de contaminación de PCB (al final del proceso deberá ser almacenado en el almacén de PCB y ser analizados para descartar su contenido de PCB).
5. Colocar el frasco en la boca de la válvula donde se tomará la muestra llenando el frasco hasta la mitad. Se tapa herméticamente el frasco, se enjuaga el recipiente eliminando el aceite en el envase de residuos líquidos.

6. Colocar el frasco en la boca de la válvula donde se tomará la muestra de aceite dieléctrico llenando en dos terceras partes del frasco de 50 ml. Si fuera necesario se deberá colocar un acople para controlar el flujo de aceite.
7. Cerrar muy bien la válvula del transformador y verificar que no se produzca ningún derrame limpiándolo con una franela desechable.
8. Una vez finalizado el muestreo, se deberá codificar la muestra con marcador de tinta indeleble y almacenarlo en el envase para se transportado al lugar de análisis.
9. Verificar que se deje el área de trabajo limpio y libre de residuos (en caso de ensuciamiento se deberá utilizar sustancias desengrasantes).



Foto: Mario Mendoza



Fuente: Janpax

Figura N° 24: Materiales y herramientas para muestreo

Para el caso de transformadores sin válvula de drenaje o en mal estado

Para los casos en los cuales se debe extraer la muestra levantando la tapa superior del transformador se recomienda seguir el siguiente procedimiento (Viviana, 2012).

1. Tomar los datos de placa del transformador de acuerdo los campos que se requiere según la Guía de la Herramienta para toma de Decisiones. Se deber llenar todo los campos que se requiere en el formulario, cuando no existen datos señalar con "ND" (No data) y especificar en el campo de observaciones las razones por las que no se registran estos datos.
2. Preparar el dispositivo que se presenta en la Figura N° 25, el cual consta de una jeringa de 50 ml acoplada a una llave de tres vías y una manguera de 40 cm, todos estos elementos desechables.



Fuente: (Viviana, 2012)

Figura N° 25: Jeringa de 50 ml acoplada a una llave de tres vías y una manguera de 40 cm

3. Si al transformador se le puede sacar la muestra por la válvula de sobrepresión, es necesario retirarla y limpiar el orificio por donde se va a sacar la muestra, esto se consigue con el papel absorbente.
4. Introducir la manguera por el orificio por donde es posible sacar la muestra, sea por la válvula de sobrepresión o una vez retirada la tapa principal, por encima del transformador.
5. Colocar la llave en la posición que se muestra en la Figura N° 26 y tirar del embolo de la jeringa hasta obtener 20 ml de muestra. Cerrar la llave.



Fuente: (Viviana, 2012)

Figura N° 26: Jeringa hasta obtener 20 ml de muestra



Fuente: (Viviana, 2012)

Figura N° 27: Operación de extracción de muestra

6. Purga de la jeringa: una vez se obtengan los 20 ml de muestra, poner la jeringa en forma vertical con la válvula de tres vías hacia arriba, abrir nuevamente la llave como se muestra en la Figura N° 28 y llevar el embolo hasta los 50 ml de la jeringa, posterior a esto agitar varias veces con el fin de enjuagarla. Evacuar la jeringa en el recipiente para residuos líquidos.



Fuente: (Viviana, 2012)

Figura N° 28: Purga de la jeringa



Fuente: (Viviana, 2012)

Figura N° 29: Obtención de muestra en recipiente

7. Toma de la muestra: posterior a la purga, cerrar la válvula de tres vías nuevamente e introducir la manguera por el orificio por donde se tiene pensada la toma de la muestra.
8. Abrir la válvula de tres vías como se muestra en la Figura N° 30 y llenar la jeringa con 50 ml de aceite.



Fuente: (Viviana, 2012)

Figura N° 30: Obtención de muestra

9. Cerrar la válvula de tres vías y retirar la manguera del transformador.



Fuente: (Viviana, 2012)

Figura N° 31: Operación de cierre de la jeringa

10. Almacenar la jeringa en una bolsa plástica negra, la cual será utilizada exclusivamente para esa jeringa.
11. Tapar el orificio que se utilizó para la toma de la muestra y descender del poste.
12. Una vez abajo y con el frasco de ámbar sobre una servilleta limpia, sacar la jeringa de la bolsa plástica y sostenerla en las manos. Esta parte del procedimiento se realizara sobre la mesa de trabajo en campo.
13. Con la llave de tres vías abierta, Depositar unos 10 ml de aceite en el recipiente de residuos. Cerrar la llave.
14. Ubicar la jeringa muy cerca del frasco de ámbar y Abrir la llave de tres vías e introducir 10 ml de aceite en el frasco. Cerrar nuevamente la llave.



Fuente: (Viviana, 2012)

Figura N° 32: Obtención de muestra en frasco ambar

15. Tapar el frasco y realizar la respectiva purga.

Figura N° 33: Cierre del frasco



Fuente: (Viviana, 2012)

Figura N° 34: Cierre del frasco

16. Desechar el residuo de la purga en el recipiente para residuos.



Fuente: (Viviana, 2012)

Figura N° 35: Purga de residuos

17. Abrir nuevamente la llave de tres vías e introducir unos 18 ml en el frasco, dejando un pequeño espacio en el frasco para evitar la sobrepresión por cambios de temperatura. Cerrar la llave de tres vías y tapar el frasco de 20 ml.
18. Rotulación de la muestra: Llenar el formato de campo y pegarlo al frasco de ámbar de 20 ml, de tal manera que coincida con la información de control tomada en el punto N° 1.



Fuente: (Viviana, 2012)

Figura N° 36: Etiquetado de la muestra

19. Desechar todos los implementos antes mencionados, en la bolsa de residuos peligroso ya que todo el material utilizado para el muestreo es desechable y no se reutiliza bajo ningún concepto. El material que entra en contacto con el aceite se considera contaminado con PCB y estos residuos deben ser llevados a una adecuada disposición final

7.7.1.1 Embalaje conservación y transporte de muestras

Las muestras deben llegar al laboratorio conservando sus etiquetas, bien embaladas y sin daños físicos. Acompañando a las muestras se deberá enviar la información y código de muestras que deberán ser utilizadas por el laboratorios para el reporte de muestras. El documento deberá contener específicamente la siguiente sentencia: “ésta organización es responsable de la calidad de la muestra

enviada y acepta que la(s) muestra(s) cumple con los requerimientos estipulados por el Laboratorio”.

Para la conservación de las muestras se debe tener presente:

- Evitar la exposición directa del sol con el frasco conteniendo la muestra
- Evitar el contacto directo de la piel con la muestra.
- No tratar de sellar el frasco de la muestra con cinta adhesiva ya que el aceite desprende la goma y esta puede ocasionar la contaminación de la muestra.
- Ningún material es cien por ciento impermeable a los PCB. Por eso es preciso
- prever la sustitución periódica de todo el EPP.
- Las muestras deben ser tomadas por personal capacitado
- Tener en cuenta que: los PCB se adhieren a cualquier medio con el que entren en contacto, bien sea una manguera, un frasco, un contenedor, un equipo de protección personal o un guante. Por lo anterior, cualquier medio que entre en contacto con aceite potencialmente contaminado o sin la identificación respectiva por la presencia de PCB, debe considerarse como “residuo de PCB” hasta que no se demuestre lo contrario y debe manejarse como tal. En caso de uso de herramientas de apertura de equipos, deben tomarse las precauciones para evitar el contacto de estos con el líquido, y cuando se produce el contacto mencionado, las herramientas deben ser descontaminadas por medio de lavado ó limpieza con un solvente.

7.8 Anexo N° 8: Procedimiento para el uso del Kit Clor-N-Oil®

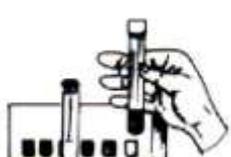
Cada Kit contiene todo lo necesario para realizar la prueba en menos de 10 minutos. Todos los agentes reactantes están contenidos en ampollas con las cantidades precisas para obtener resultados seguros, efectivos y al instante. La presentación de los kits es en concentraciones fijas de 20, 50, y 500 ppm.

Con la finalidad de eliminar la posibilidad de obtener falsos negativos, el kit Clor-N-Oil®, esta calibrado con el Aroclor 1242 que contiene una concentración de cloruros de 42%. Con éste método que es más conservador se puede asegurar la obtención de falsos negativos por debajo del 1% (0,67% según la empresa proveedora).

Cuando la sustancia indicadora toma un color púrpura, podemos estar seguros que el líquido contiene menos concentración de PCB respecto al nivel seleccionado del Kit.

Cada Kit Clor-N-Oil 50 de la compañía Dexsil® contiene:

1. Tubo #1 – Un tubo de ensayo de plástico, de tapa negra con válvula, contiene una ampolla incolora con una marca azul (inferior) y una ampolla gris (superior).
2. Tubo #2 – Un tubo de ensayo de tapa blanca, conteniendo 7 ml de una solución buffer, una ampolla incolora con una marca blanca (inferior) y una ampolla verde roja (superior)
3. Una pipeta desechable de plástico.
4. Una ampolla de vidrio embalada en un tubo de cartón, designado como ampolla de eliminación.

	<p>1. Preparación – Remueva el contenido de la caja. Verifique si el contenido está correcto e intacto. Coloque los dos tubos de ensayo en los soportes frontales de la caja.</p>
	<p>2. Preparación de la muestra – Retira la tapa negra del tubo #1. Utilizando la pipeta desechable, transfiera exactamente 5 ml. de aceite del transformador (hasta la línea) para el tubo de tapa negra. Cierre bien el tubo.</p>
	<p>3. Reacción – Quiebre la ampolla con la marca azul (inferior) comprimiendo los lados del tubo. Agite vigorosamente durante 10 segundos. Quiebre la ampolla gris del tubo #1 y agite bien durante 10 segundos (asegúrese de que la ampolla incolora es la primera a ser quebrada). Espere 50 segundos para que los reactantes reaccionen agitando intermitentemente.</p>

	<p>4. Extracción – Remueva las tapas de ambos tubos y transfiera la solución buffer (solución incolora) del tubo #2 (tapa blanca) para el tubo #1 (tapa negra). Cierre el tubo #1 e agite vigorosamente durante 10 segundos. Ventile el tubo #1 con cuidado (abra la tapa apenas media vuelta) para aliviar la presión dentro del tubo. Agite 10 segundos más y ventile nuevamente el tubo. El aceite ya no debe estar grisáceo. Coloque el tubo #1 bien cerrado con la tapa hacia abajo en una superficie plana y espere 2 minutos para que la solución acuosa se separe de la solución orgánica (aceite). Si el aceite queda por debajo de la solución acuosa, el aceite es PCB puro (Askarel). (Ver instrucciones especiales en la indicación de askarel). Si el aceite se encuentra sobre la fase acuosa continúe con el test.</p>
	<p>5. Análisis – Si el aceite se encuentra por encima de la solución acuosa, levantar el tubo #1 (invertido como está) con cuidado y transferir a través de la válvula de el tubo #1, 5 ml. de la solución acuosa para el tubo #2 (hasta la marca de los 5 ml). Tener cuidado para no introducir ninguna gota de aceite que se encuentra por encima de la solución acuosa. Cierre bien el tubo #2. Quiebre la ampolla incolora (inferior) del tubo #2 y agite durante 10 segundos. Quiebre la ampolla de color (superior) del tubo #2 y agite durante 10 segundos.</p>
	<p>6. Resultados – Observe el color resultante y compare con la tabla de colores. Si la solución tuviera un color púrpura, el aceite contiene menos de 50 ppm de PCB. Si la solución tuviera un color amarillo o incoloro, el aceite podría tener más de 50 ppm de PCB. Enseguida, se debe hacer un análisis a través de un método específico (cromatografía gaseosa) para la identificación y cuantificación de PCB.</p>
	<p>7. Eliminación – Abra la ampolla, denominada “ampolla de eliminación” e introdúzcala en el tubo #2. Cierre el tubo, quiebre la ampolla y agite durante 5 segundos. Esta reacción es necesaria para neutralizar el mercurio, de tal forma que se cumple los requisitos del test TCLP (“Toxicity Characteristic Leaching Procedure”) de la EPA (Environmental Protection Agency).</p>

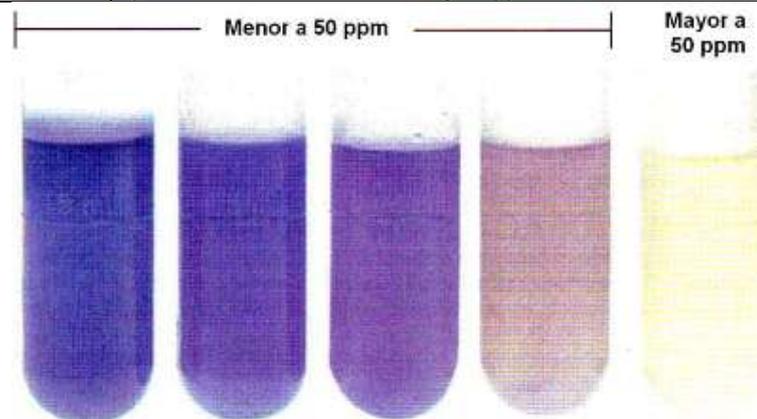
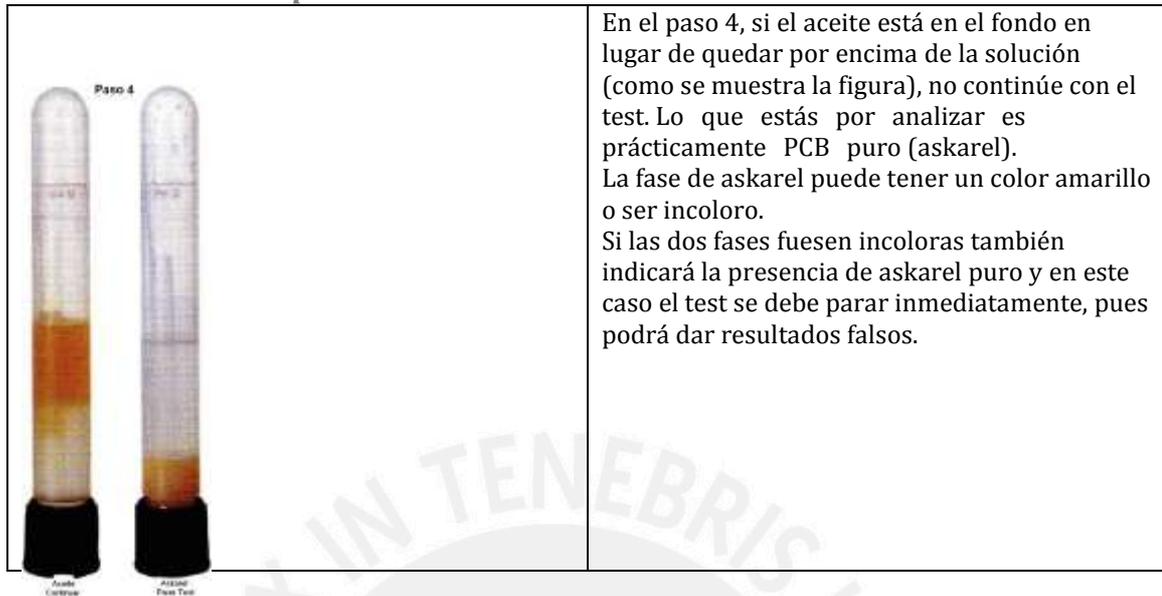


Foto: Mario Mendoza

Figura Nº 37: Tabla de colores para la determinación de PCB

Instrucciones Especiales en la indicación de Askarel



En el paso 4, si el aceite está en el fondo en lugar de quedar por encima de la solución (como se muestra la figura), no continúe con el test. Lo que estás por analizar es prácticamente PCB puro (askarel). La fase de askarel puede tener un color amarillo o ser incoloro.

Si las dos fases fuesen incoloras también indicará la presencia de askarel puro y en este caso el test se debe parar inmediatamente, pues podrá dar resultados falsos.

El trabajo de investigación de este kit fue patrocinado por Electric Power Research Institute, Palo Alto, California y desarrollado por General Electric Company, Pittsfield, Massachusetts and Dexsil Corporation Hamden, Connecticut.

7.9 Anexo N° 9: Método de detección del PCB con el L2000DX

Para desarrollar este procedimiento se ha tomado las recomendaciones del fabricante del equipos L2000DX, Dexsil® (Dexsil Corporation, 2001).

Preparación de la muestra

Para la preparación e la muestra se tomarán las siguientes matrices, que son las más comunes que se puedes obtener en el campo

1. Aceite dieléctrico de transformador
2. Suelo
3. Agua
4. Superficies no porosas contaminadas (utilizando paños)

Para cada una de estas matrices se requiere de diferente preparación antes de dar paso la reacción de la conversión y su cuantificación.

Para el caso del análisis de aceite de transformadores no se requiere de ninguna preparación especial de la muestra con excepción de tomar una muestra limpia sin contenido de ninguna fuente extraña principalmente de elementos clorados que introduzca factores de incertidumbre o lo que se llaman falsos positivos, tal como sales (humedad en ambientes salinos).

Esto es importante porque, para el aceite del transformador, no hay procedimientos de limpieza de la muestra para eliminar la contaminación por cloruros inorgánicos ya que como es bien sabido, el aceite del transformador está típicamente libre de cloro inorgánico. En los casos especiales donde los transformadores han fallado debido a la contaminación con agua o se han quitado de servicio y han sido almacenados en áreas cercanas al mar (sal marina), el cloruro inorgánico puede causar como resultado lecturas elevada de cloro.

El cloro cuantificado en este caso es el cloro total contenido en la muestra, no hay opción de discriminar sus componentes por arocloros..

En el caso de los análisis de muestras de suelo, los contaminantes orgánicos deben ser extraídos usando un solvente orgánico. Debido además a que las muestras del suelo contienen invariablemente cloruros inorgánicos (Silicatos, Óxidos e hidróxidos de Fe, Carbonatos, Sulfatos, Cloruros y Nitratos), el extracto del suelo se debe limpiar hasta quitar todos los rastros del cloruro inorgánico. El extracto limpio entonces reacciona y se cuantifica el cloruro resultante. Para los análisis de suelo, por lo tanto, solamente el contenido de cloruros orgánico es cuantificado. Fuentes extrañas de cloruros como sal marina y otros no se detecta.

Al igual que en el caso de las muestras de suelos, una muestra de agua se debe someter a la extracción antes de análisis final. El cociente entre el volumen del solvente y el volumen de la muestra determina la sensibilidad de la prueba. Se provoca la reacción del extracto y el cloruro se cuantifica como antes se indicó. Al

igual que en el caso de las muestras del suelo, solamente los clorados orgánicos son cuantificados en las muestras de agua.

Los análisis de superficies no porosas a través de paño requieren que un área específica sea limpiada usando una gasa hexano-empapada. La gasa se trata con un solvente orgánico, a través de una reacción y determinando el contenido de la cloro. Para las muestras de paños, el procedimiento estándar elimina la mayoría de toda la contaminación por clorados inorgánicos. En caso de áreas o superficies con una alta concentración de contaminación con sales podría necesitar de procedimientos diferentes.

Reacción para la conversión del cloruro

Una vez que la muestra haya estado preparada, los procedimientos para la conversión del cloruro son iguales para todos los tipos de la muestra. El procedimiento de la conversión es una reacción de la muestra con un exceso del sodio metálico en presencia de un catalizador para convertir el cloro orgánico covalente en iones libres de cloro. Esta reacción del sodio metálico con los compuestos órgano-clorados es vigorosa y va a terminar convirtiendo toda los clorados orgánicos en cloro.

Cuantificación

Una vez terminada la reacción la conversión, los iones de cloro resultante se extraen en un medio acuoso de almacenamiento intermedio. El contenido del cloro final en el extracto o medio acuoso de almacenamiento intermedio, es cuantificado usando un electrodo específico de cloro que lo convierte en una concentración equivalente del analito usando los factores de la conversión programados en el instrumento. El factor de la conversión se compone por el porcentaje de cloro, el múltiplo del tamaño de muestra y el múltiplo de la eficiencia del proceso de extracción.

La concentración del analito es determinada primero restando el valor en blanco del valor real de cloro (a menos que cuando la opción de Blank Subtraction está desactivado), el valor corregido del cloro resultante es multiplicado por el factor de tamaño y el factor de extracción, dividido por la fracción de cloro (el porcentaje de cloro dividido por 100):

$$[\text{Analito}] = ([\text{Cl}]_{\text{raw}} - [\text{Cl}]_{\text{blank}}) (\text{factor de tamaño}) (\text{factor de extracción}) / (\text{fracción de cloro})$$

El programa operativo del L2000DX se divide en el proceso de análisis (**Analysis Loop**) y el menú de las OPCIONES (**OPTIONS Menu**). Los métodos pre-programados están disponibles para el uso en los análisis de rutina y se seleccionan fácilmente dentro del **Analysis Loop**.

El software completa un ciclo automáticamente deteniéndose en los puntos críticos cuando se requiere que el usuario ingrese opciones de selección como "**Calibration**", "**Blank Subtraction**" y "**Sample ID**".

La medición se inicia sin requerir de ninguna programación adicional simplemente se debe elegir el método y seguir las instrucciones de la pantalla.

Calibración Inicial

Para comenzar con la utilización del equipos utilice el soporte de frascos para colocar dos frascos vacíos de 20 ml y las botellas de soluciones de RINSE y de CALIBRATION. Quite las tapas de ambos frascos de 20 ml y etiquete un frasco con “RINSE” y la otra “CAL”. Llene cada frasco aproximadamente hasta la mitad con la solución apropiada y fije en el estante de frascos. (la experiencia nos recomienda etiquetar el soporte con la localización de la solución RINSE y con la de CAL) estas soluciones serán utilizados para la disposición y la calibración inicial del electrodo.

También se utilizará periódicamente para volver a calibrar el electrodo y el funcionamiento del mismo. Una vez inicializado, el electrodo debe permanecer en la solución RINSE cuando no está en uso.

Para empezar con el uso del equipo, encienda el analizador presionando <ENTER/ON>. La impresora avanzará una línea y exhibirá lo siguiente:

Dexsil L2000DX
Versión 1.24

Esta es la Primera Pantalla del programa en funcionamiento. El analizador está listo para aceptar instrucciones.

Restauración del electrodo después de un periodo largo de almacenamiento

El electrodo normalmente esta vacío y debe ser almacenado vacío y limpio siempre que sea dejado por un período largo de tiempo. Para restaurar el electrodo a condición de funcionamiento se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Quite la tapa protectora de una extremidad del electrodo.
2. Llene el electrodo, hasta el agujero de llenado a un costado, con la solución Orion Electrode Filling Solution suministrada con cada lote de reactivos. Para llenar, coloque el inyector de la botella de la solución en el agujero lateral del cuerpo de plástico y presione suavemente para llenar el compartimiento.
3. Drene el electrodo, mientras que lo sostiene vertical sobre el cubilete de desechos, agarrando el cuerpo del electrodo firmemente en una mano y empujando hacia abajo en el casquillo negro superior. La solución de llenado drenará por el fondo del electrodo.
4. Rellene el electrodo y cerciórese de que la solución de relleno está haciendo contacto a lo largo del núcleo y el protector plástico del electrodo. Si no está haciendo el contacto en todos los puntos, drene el electrodo otra vez y rellénelo. Asegurarse que no prevalecen burbujas de aire adheridas al electrodo o sus paredes internas.
5. Conecte el electrodo con el conector BNC en la parte posterior del analizador L2000DX etiquetado con “ELECTRODO” y compruebe su operación. Como

medida de seguridad siempre tome los terminales con las manos para evitar de descarga de tensión por la energía estática que se puede acumular.

6. Para comprobar el electrodo, encienda el analizador presionando <ENTER/ON> y seleccione el menú de OPCIONES de la primera pantalla la tecla <OPCIÓN>. En el menú de OPCIONES, ir a "DIAGNOSTICS" presionando la tecla <6>. La pantalla mostrará:

DIAGNOSTICS X•X
XXX•X mV XX•X °C

El equipo, indicará la temperatura actual y después actualizará continuamente la salida del electrodo en mili-voltios (mV). Coloque el electrodo en solución fresca de enjuague RINSE, remueva suavemente la solución con el electrodo y permita que éste se asiente. En este punto es importante cuidar que electrodo no se dañe con el fondo del envase del RINSE, así como también asegurarse que no existen burbujas de aire atrapadas en la superficie de contacto del electrodo.

La salida del electrodo debe alcanzar 140 milivoltios o más dentro de 1 minuto. Si la salida del electrodo no alcanza al menos 140 milivoltios, vaciar la solución y el reponer la solución con una solución RINSE fresca.

Si esto no mejora la salida del electrodo, drene el electrodo, rellénelo con la solución y compruebe la salida otra vez. Una vez que la salida sea 140 milivoltios o mayor, el electrodo está funcionando correctamente y es seguro proceder con las mediciones.

Si la salida del electrodo no alcanza 140 milivoltios, se deberá intentar la corrección que se recomienda más adelante¹⁵.

Preparación de las muestras

Aceite dieléctrico

Antes de que una muestra del aceite dieléctrico del transformador se pueda analizar con el L2000DX, los elementos Orgánico Clorados (PCB) deben ser químicamente convertidos en cloro.

1. Quite la tapa del tubo negro y agregue aceite hasta la línea de 5 ml usando una pipeta del polietileno (Figura N° 38). Reponga la tapa en el tubo ajustándola firmemente

¹⁵ La actualización de la pantalla de "Diagnostics" es cada 6 segundos, cualquier tecla presionada no tendrá efecto hasta que termine el ciclo actual de medición.

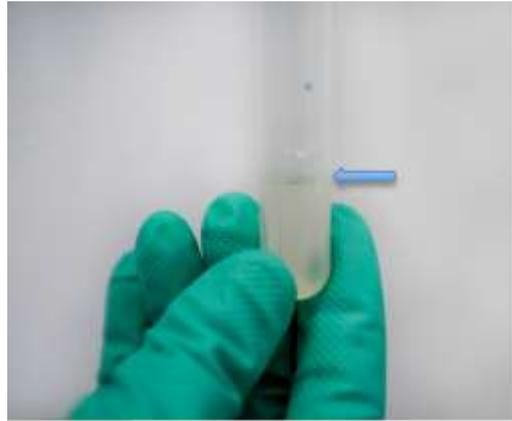


Foto: Mario Mendoza

Figura N° 38: Primera etapa de análisis

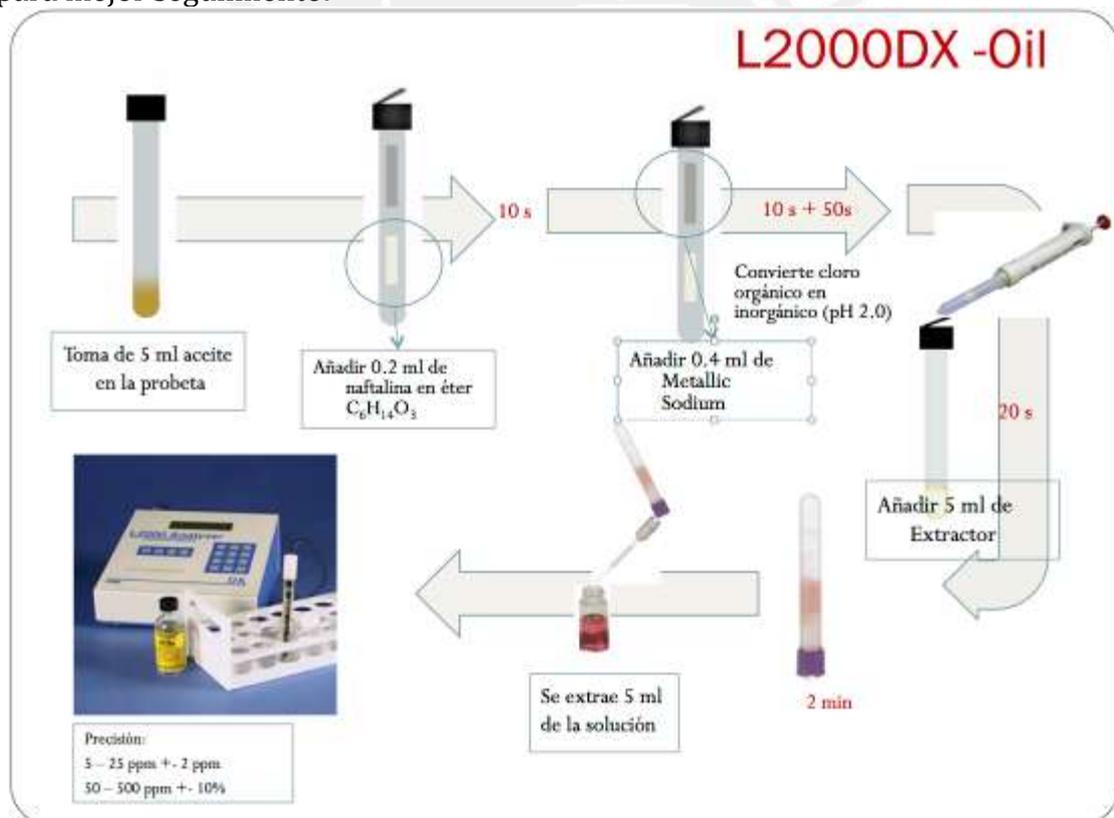
2. Rompa la ampolla (incolora) inferior en el tubo. Sacuda vigorosamente el tubo por 10 segundos. Rompa la ampolleta presionando el tubo de ensayo de plástico y no lo doble.
3. Rompa la ampolla (gris) superior en el tubo. Sacuda el tubo vigorosamente por 10 segundos permitiendo que la reacción se produzca por un periodo de 50 segundos adicionales (total de un minuto), mientras tanto, sacuda intermitentemente varias veces.
4. Con la pipeta de 5 ml, agregue cinco mililitros de la solución de extracción al tubo de tapa negra. Cierre la capsula con seguridad y sacuda vigorosamente hasta que desaparezca la espuma y el color oscuro. Ventee el tubo con cuidado destapando parcialmente la tapa negra mientras que sostiene el tubo en posición vertical. Presione el tubo levemente mientras ajusta la tapa y sacuda el tubo vigorosamente por 20 segundos más. Ventear otra vez, y cerrar la tapa y colocar el tubo al revés parándolo sobre su tapa, manténgala en esta posición por dos minutos.
5. Coloque el embudo con el filtro del polietileno en uno de los frascos del cristal de 20 ml marcándolo con el número de la muestra (identificación de la muestra). Coloque el tubo de tapa negra directamente sobre el embudo y abra cuidadosamente el dispensador (Véase Figura N° 39). Dispense la solución cuidadosamente exprimiendo los lados del tubo. Pare tan pronto como aparezca la primera gota del aceite. Permita que la solución pase a través del embudo, pero quite el embudo antes de cualquier gota de aceite pase a través de él. Permita que la solución se refrigere al medio ambiente por cinco minutos. La muestra ahora está lista para el análisis.



Foto: Mario Mendoza

Figura N° 39: Extracción de solución con iones de cloro para su medición

En el grafico que se muestra a continuación se grafica el procedimiento paso a paso para mejor seguimiento:



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 40: Proceso para preparación de muestras de aceite

Muestras de suelos

Para analizar una muestra del suelo, el analito debe ser primero extraído de la muestra. Hay dos sistemas y solvente disponibles para la extracción. Dependiendo del uso específico se podrá seleccionar el más apropiado, uno es el solvente

estándar para la extracción y el otro es el procedimiento de dos etapas. Ambos sistemas proporcionan buenos resultados cuando se trata de suelos arenosos seco.

El procedimiento estándar es algo más rápido y tiene pocos pasos, pero no se debe utilizar en el caso de suelos húmedos o arcillas pesadas, se debe tener en cuenta que la humedad no debe ser mayor a 10%.

Procedimiento estándar para el análisis de suelo

1. Con la espátula del metal y la balanza electrónica portátil proveídos con el equipo, pese diez gramos del suelo en un tubo vacío de ensayo de tapa blanca. NOTA: Tenga cuidado de no incluir ningún material diferente en la muestra; es decir, material absorbente, segmentos de rocas, etc. El tubo vacío puede ser pesado colocándolo en la balanza y presionando <ON/OFF/ZERO>.



Foto: Mario Mendoza

Figura N° 41: Analyzer L2000DX de Dexsil®

2. Quite el casquillo negro del frasco de cristal que contiene el solvente de extracción y vierta el contenido entero del frasco en el tubo que contiene el suelo. Reponga la tapa blanca en el tubo de ensayo de plástico, cierre firmemente y sacuda el tubo vigorosamente por un minuto. Desintegre cualquier conglomerado de suelo exprimiendo el tubo por los lados y sacudiéndolo. (Véase Figura N° 42) Reposar el tubo verticalmente por dos minutos.



Foto: Mario Mendoza

Figura N° 42: Proceso de destrucción de PCB con sodio metálico

3. Remover la Drying column de su estuche sujetando a través del protector el extremo para remover la tapa roja. Jale completamente el pistón de la jeringa de 10 cc. Junte el extremo azul de la Drying column con el extremo de la jeringa deslizándola hasta el collar de su extremo. Esta debe tener un contacto adecuado para que asegure un buen funcionamiento sobre la jeringa. Cerciórese de que esté firmemente asegurado.
4. Quite la tapa-dispensador negro del tubo de ensayo de plástico que contiene dos ampollas de cristal. Deslice la pieza ensamblada con la Drying column - jeringa de la manera que quede dentro del tubo de ensayo que contiene las dos ampollas. Mantenga el ensamble completo en posición vertical. Con la pipeta de polietileno, quite el solvente de extracción que se encuentra sobre la muestra de suelo y dispénselo en la tapa abierta de la jeringa. Usted necesitará recuperar suficiente solvente de extracción para llenar la jeringa al nivel de 7 ml. Intente no quitar ningún trozo de suelo con el solvente, esto puede perjudicar el buen funcionamiento de la Drying column. Después que 7 ml de solvente se hayan transferido a la jeringa, coloque el émbolo en la parte posterior de la jeringa y aplique presión de modo que el solvente sea forzado a pasar a través de la Drying column a un promedio de 2 o 3 gotas por segundo. No fuerce el solvente a través de la Drying column demasiado rápida. Cuando el solvente llene el tubo de ensayo hasta la línea de -5 ml, jalar el émbolo para parar el flujo de solvente. Quite la Drying column -jeringa del tubo de ensayo, y asegure su tapa-dispensador negro firmemente en el tubo de ensayo.
5. Rompa la ampolla (incolora) inferior del tubo de ensayo exprimiendo los lados del tubo (no doble el tubo) y sacuda la mezcla bien por 10 segundos. Rompa la ampolla (gris) superior en el tubo de ensayo y sacuda el tubo vigorosamente por 10 segundos. Permita que la reacción proceda por 50 segundos adicionales (total de un minuto), mientras que sacude intermitentemente varias veces.

6. Con la pipeta de 5 ml, agregue cinco mililitros de la solución de extracción al tubo de tapa negra. Cierre la capsula con seguridad y sacuda vigorosamente hasta que desaparezca la espuma y el color oscuro. Ventee el tubo con cuidado destapando parcialmente la tapa negra negro mientras que sostiene el tubo en posición vertical. Presione el tubo levemente mientras ajusta la tapa y sacuda el tubo vigorosamente por 20 segundos más. Ventear otra vez, y cerrar la tapa y colocar el tubo al revés parándolo sobre su tapa, manténgala en esta posición por dos minutos.
7. Coloque el embudo con el filtro del polietileno en uno de los frascos del cristal de 20 ml marcándolo con el número de la muestra (identificación de la muestra). Coloque el tubo de tapa negra directamente sobre el embudo y abra cuidadosamente el dispensador (Véase Figura N° 43). Dispense la solución cuidadosamente exprimiendo los lados del tubo. Pare tan pronto como aparezca la primera gota del aceite. Permita que la solución pase a través del embudo, pero quite el embudo antes de cualquier gota de aceite pase a través de él. Permita que la solución se refrigere al medio ambiente por cinco minutos. La muestra ahora está lista para el análisis.



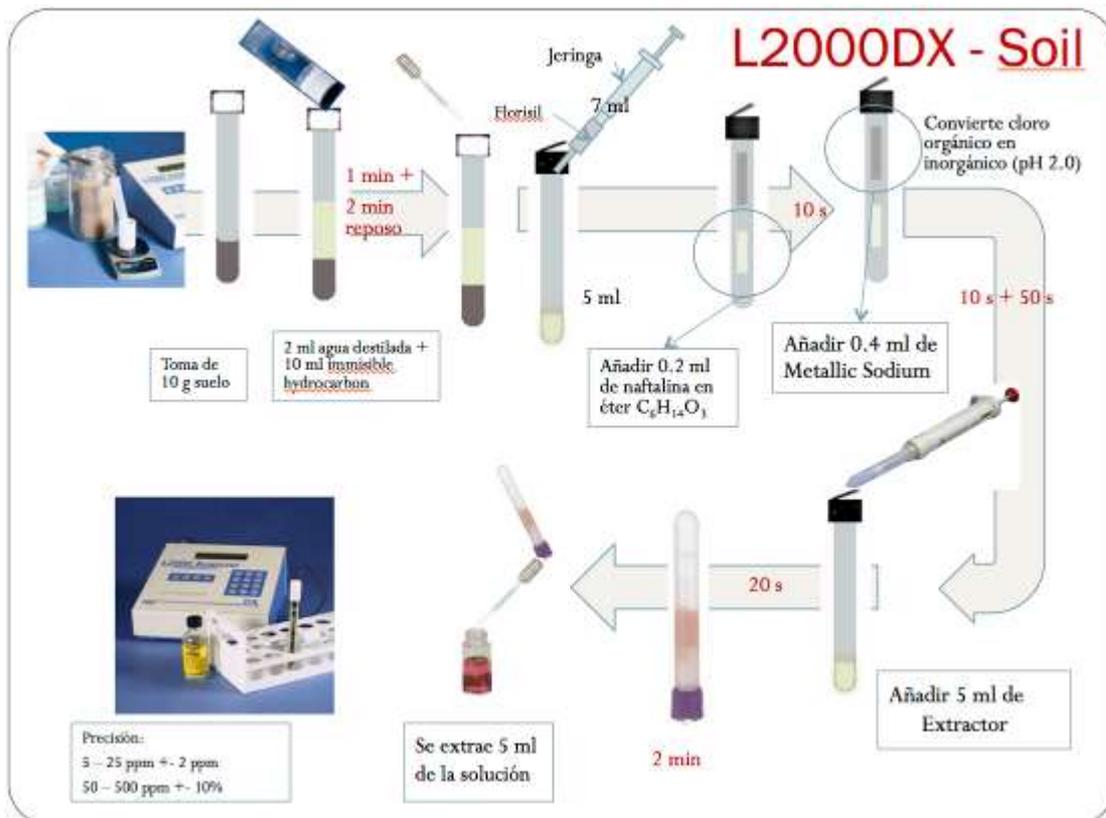
Foto: Mario Mendoza

Figura N° 43: Extracción de Iones de cloro

Procedimiento de dos etapas para el análisis de suelo:

1. Con la espátula del metal y la balanza electrónica portátil proveídos con el equipo, pese diez gramos del suelo (10 g) en un tubo vacío de ensayo de tapa blanca. Tenga cuidado de no incluir ningún material diferente en la muestra; es decir, material absorbente, segmentos de rocas, etc. El tubo vacío debe ser pesado colocándolo en la balanza y presionando <ON/OFF/ZERO> para considerar el peso neto del suelo que se quiere analizar.
2. Agregue el contenido del solvente rompiendo la tapa de cristal del envase al tubo de ensayo con la muestra del suelo. Tape firmemente el tubo y sacuda el contenido por 3 minutos. Cerciórese que la muestra de suelo se humedezca a fondo.

3. Agregue el componente de agua coloreada contenido en el frasco de tapa negra de 6 ml al tubo de ensayo. Tape firmemente el tubo y sacuda el contenido por 2 minutos adicionales.
4. Permita que la mezcla se separe por 2 minutos.
5. Quite el émbolo de una unidad jeringa/filtro de su envase y quite la tapa-dispensador negro del tubo de ensayo de la reacción y colóquelo en el estante.
6. Remover la capa superior del tubo de ensayo (la capa con solvente) usando la pipeta del polipropileno proporcionada mientras que sostiene la jeringa/filtro sobre el tubo de reacción, agregue 7 ml a la jeringa/filtro.
7. Agregue solvente de la jeringa/filtro hasta la línea de 5 ml del tubo de ensayo de tapa negra. Tape firmemente el tubo.
8. Rompa la ampolla (incolora) inferior del tubo de ensayo tapa-negra exprimiendo los lados del tubo y sacuda la mezcla por 10 segundos.
9. Rompa la ampolla superior (gris) del tubo de ensayo y sacúdalo vigorosamente por 10 segundos. Permita que la reacción se produzca por 40 segundos adicionales (total un minuto), mientras sacude intermitentemente varias veces.
10. Con la pipeta de 5 ml, agregue cinco mililitros de la solución de extracción al tubo de tapa negra. Cierre la capsula con seguridad y sacuda vigorosamente hasta que desaparezca la espuma y el color oscuro. Ventee el tubo con cuidado destapando parcialmente la tapa negra negro mientras que sostiene el tubo en posición vertical. Presione el tubo levemente mientras ajusta la tapa y sacuda el tubo una segunda vez. Ventear otra vez, y cerrar la tapa y colocar el tubo al revés parándolo sobre su tapa, manténgala en esta posición por dos minutos.
11. Coloque el embudo con el filtro en uno de los frascos del cristal de 20 ml marcándolo con el número de la muestra (identificación de la muestra). Coloque el tubo de tapa negra directamente sobre el embudo y abra cuidadosamente el dispensador. Dispense la solución cuidadosamente exprimiendo los lados del tubo. Permita que la solución pase a través del embudo, pero quite el embudo antes de cualquier gota de aceite pase a través de él. Permita que la solución se refrigere al medio ambiente por cinco minutos. La muestra ahora está lista para el análisis



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 44 Proceso para preparación de muestras de suelos

Muestras de agua

Rangos altos (5-2000 ppm)

1. Llene un tubo de muestras con 10 gramos de la muestra de agua.
2. Agregue 10 ml de solvente de extracción iso-octano y sacuda vigorosamente por 30 segundos.



Foto: Dexsil ®

Figura N° 45: Analyzer L2000DX ®

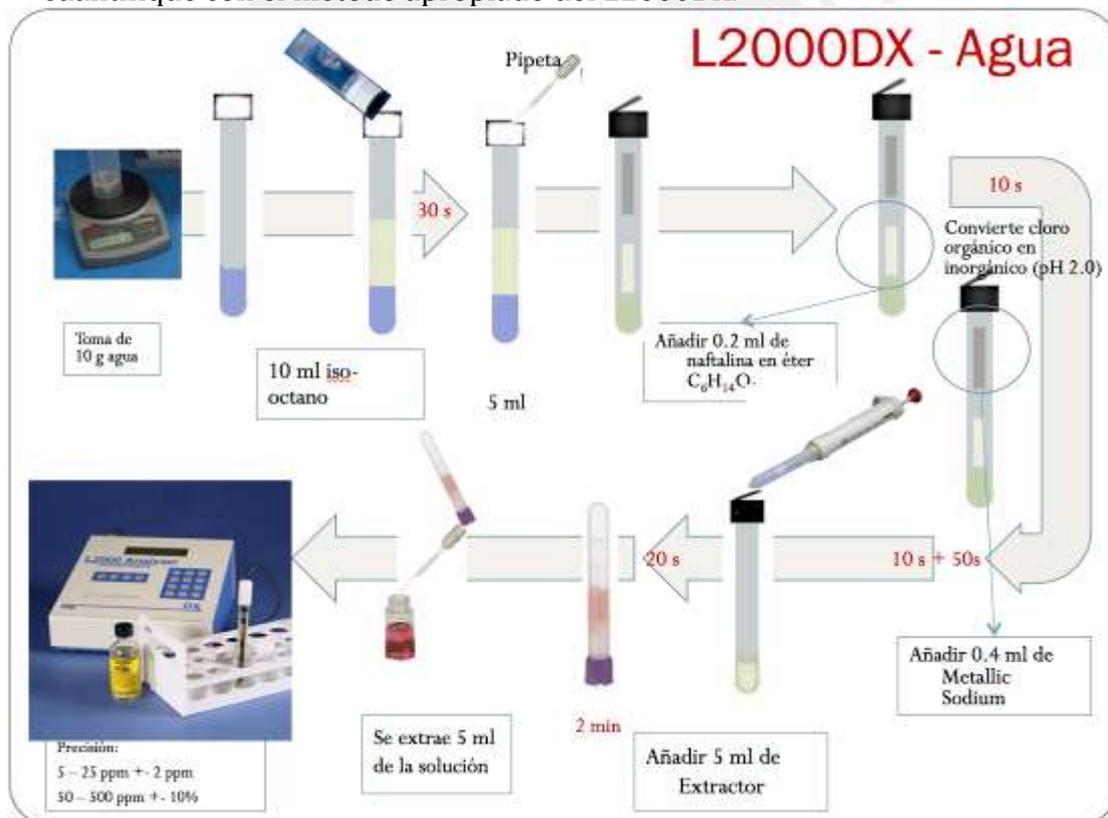
3. Permita la separación de la solución en dos fases por un mínimo de 2 minutos. (Si se forma una emulsión, agregue sulfato de sodio, sacuda y permita que se

separe otra vez). Con la pipeta plástica quite 5 ml de la fase superior del solvente y agregue al tubo de reacción con tapa negra.

4. Proceda con la prueba de igual manera que para una muestra del aceite y cuantifique con el método apropiado del L2000DX.

Bajo rango (20 ppb - 5 ppm)

1. Recoja la muestra en una botella de cristal de boca estrecha de 1/4 de galón sin dejar espacio libre. Tape firmemente y almacene refrigerado hasta el momento del análisis.
2. Cuando se proceda a realizar la prueba, mueva e invierta el frasco suavemente una o dos veces. Luego usando una pipeta plástica, quite 35 ml de agua del frasco de muestra pesando 35 gramos de agua. Después agregue 10 ml de iso-octano y sacuda vigorosamente por 2 minutos.
3. Agregue suficiente agua destilada libre de cloro hasta tener el nivel del agua en el cuello de la botella de muestra (el nivel del solvente debe estar apenas en el cuello de la tapa) deje fijar la solución por 3 minutos.
4. Retire 5, ml de la capa superior de solvente (**No retire agua con el solvente**) y agregue al tubo de reacción de tapa negra y tápelo firmemente.
5. Proceda con la prueba de igual manera que para una muestra del aceite y cuantifique con el método apropiado del L2000DX.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 46: Procedimiento para preparación de muestras de agua

Muestras de superficies no porosas (pañó)

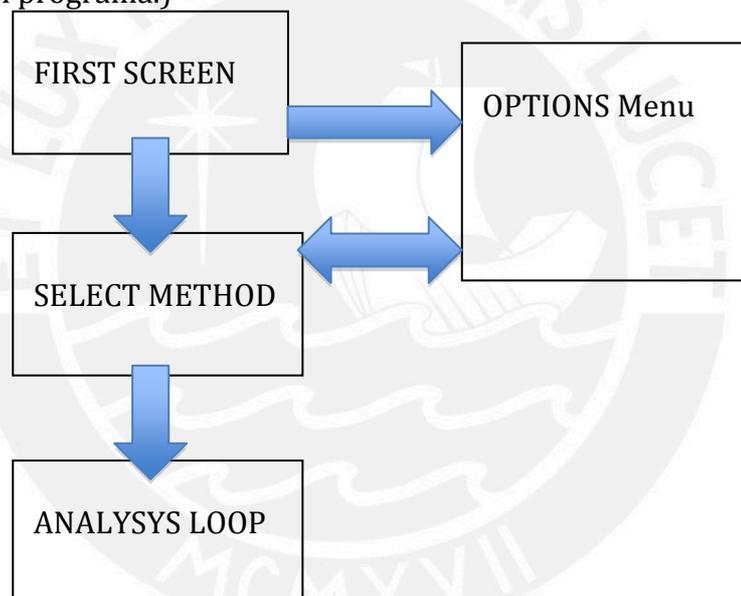
1. Tome la ampolla de cristal sellado con hexano cromatográfico y rompa el extremo cuidadosamente. Vierta el contenido entero en el frasco que contiene un cojín de la gasa. Tome el cojín de gasa empapado con la pinza y con una técnica aprobada limpie un área de 1000 cm². 1000 cm² equivale a un cuadrado de 31,6 centímetros o 12,5 pulgadas por lado. Es igual a 1,08 pie². Permita que el hexano se evapore (aproximadamente 1 minuto).
2. Teniendo cuidado de no contaminar el wipe, póngalo tan libremente como sea posible en el tubo con la tapa blanca con dispensador. Vierta el líquido de extracción, (10 ml de iso-octano), en el tubo de tapa blanca. Cierre la tapa y deje el solvente y la gasa por 30 segundos. Exprima el tubo para asegurarse que el iso-octano lave totalmente la gasa. Este solvente ahora contiene todo el PCB que fue retirado durante el procedimiento de limpieza.
3. Quite la tapa negra con dispensador de uno de los tubos de reacción. Abra el tubo de ensayo con tapa blanca y traslade el extracto iso-octano en el tubo de tapa negra hasta la línea de 5 ml. Tape el casquillo firmemente en el tubo.
4. Rompa la ampolla (incolora) inferior del tubo. Sacuda bien el tubo por 10 segundos.
5. Rompa la ampolla (gris) superior en el tubo. Sacuda el tubo por 10 segundos vigorosamente permitiendo que se produzca la reacción por los 50 segundos adicionales (total un minuto), mientras sacude intermitentemente varias veces.
6. Con la pipeta de 5 ml, agregue cinco mililitros de la solución de extracción al tubo de tapa negra. Cierre la capsula con seguridad y sacuda vigorosamente hasta que desaparezca la espuma y el color oscuro. Ventee el tubo con cuidado destapando parcialmente la tapa negra negro mientras que sostiene el tubo en posición vertical. Presione el tubo levemente mientras ajusta la tapa y sacuda el tubo vigorosamente por 20 segundos más. Ventear otra vez, y cerrar la tapa y colocar el tubo al revés parándolo sobre su tapa, manténgala en esta posición por dos minutos.
7. Coloque el embudo con el filtro en uno de los frascos del cristal de 20 ml marcándolo con el número de la muestra (identificación de la muestra). Coloque el tubo de tapa negra directamente sobre el embudo y abra cuidadosamente el dispensador. Dispense la solución cuidadosamente exprimiendo los lados del tubo. Permita que la solución pase a través del embudo, pero quite el embudo antes de cualquier gota de aceite pase a través de él. Permita que la solución se refrigere al medio ambiente por cinco minutos. La muestra ahora está lista para el análisis

Operación básica del L2000DX

Para el adiestramiento y capacitación del Analyzer L2000DX, se adjunta el programa de adiestramiento elaborado por la compañía Minpetel S.A. que complementa lo que se describe a continuación.

Información de carácter general

La operación del L2000DX es controlada por un programa organizado en una serie de “pantallas”. Unas pantallas sirven para que el usuario ingrese datos al sistema mientras otras muestran los resultados del proceso. Hay dos pantallas al principio del programa que serán referidas en este procedimiento. La primera de ellas (**First Screen**) es la que aparece cuando se enciende el sistema y cuando se realiza el apagado manual del mismo, y la otra es la SELECCIÓN del MÉTODO (**SELECT METHOD SCREEN**) que es la siguiente en la secuencia. En la pantalla **SELECT METHOD SCREEN** se debe seleccionar el método analítico deseado antes de proceder al análisis. Desde esta pantalla el programa entra en una serie de pantallas que encaminan al usuario durante el análisis de muestras previamente preparadas. Esta serie incluye los procesos de calibración, la determinación en blanco y determinará la secuencia re-calibración periódica necesaria. Esta sección del programa es referida al Proceso de Análisis **Analysis Loop**. (Véase el diagrama de bloques del programa.)



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 47: Diagrama de bloques del programa

Una vez en **Analysis Loop**, el analizador debe ser calibrado. El procedimiento de la calibración es puntual usando para ello un patrón estándar de CALIBRACIÓN con 50 ppm de cloruro proveído en cada lote de reactivos enviados. Esta calibración se debe repetir aproximadamente cada 20 medidas o una hora de trabajo, cualquiera (lo que suceda primero). El sistema tiene un cronómetro y un contómetro para controlar la necesidad de recalibración cuando sea necesario. Durante el procedimiento de la calibración, el funcionamiento del electrodo también será evaluado. Si el potencial de electrodo para la solución de calibración no está dentro de los límites aceptables, una advertencia será mostrada y el programa ejecutará en el modo del diagnóstico.

El resto de las funciones del programa son accesibles presionando <OPTION> en la Primera pantalla o **SELECT METHOD Screen**. Esta sección del programa es refiera

en el presente manual como **OPTIONS Menu**. Aun cuando solamente una opción es mostrada al mismo tiempo, las opciones están organizadas en una secuencia de opciones que funcionalmente son muy parecidas a un menú típico de la mayoría de programas de computadora.

Inicio del analizador y navegación en el sistema operativo

Presionando <ENTER/ON> se iniciará el analizador y el programa mostrará la primera pantalla **Fisrt Screen**. En **Fisrt Screen** se mostrará lo siguiente:

Dexsil L2000DX
Versión X.XX

indicando la versión del programa que está funcionando actualmente en el analizador L2000DX.

Desde **First Screen** presionar <ENTER/ON> para trasladar al programa a la pantalla de Selección del Método **SELECT METHOD Screen**:

SELECT METHOD
Method ID

presionando <<NO> y <SÍ> podrá recorrer a través de los métodos pre-instalados. Cuando el método deseado se exhibe en la pantalla, presionando <ENTER/ON> lo seleccionará. El programa entonces entrará en **Analysis Loop** y el programa comenzará a ejecutar las operaciones necesarias para comenzar el análisis de muestras usando el método elegido.

Los métodos disponibles en el equipo son:

1242 oil	1242 soil	2 step 1242
1242 wipe	1242 water high	1254 oil
1254 soil	2 step 1254	1254 wipe
1254 water high	1260 oil	1260 soil
2 step 1260	1260 wipe	1260 water high
Askarel a oil	Askarel a soil	2 step Askarel
Askarel a wipe	Askarel a water high	DDT soil
Toxaphene soil	Chlordane soil	PCP soil
Trichlor soil	Trichlor water	111 trichl water
Tetrachlor soil	Tetrachlor water	Methchlor water
Vinylchlor water	Dichlor water	Chloride

Calibración

El primer paso requerido antes que cualquier medida pueda ser hecha, es calibrar el instrumento.

El programa operativo del L2000DX mostrará la pantalla de la CALIBRACIÓN cuando se selecciona un nuevo método, cuando la temperatura ha cambiado por más que 5 °C, o cuando el cronómetro acciona la opción de re-calibración. La pantalla mostrará:

CALIBRATION FOR
method name

indicando el método que se seleccionó. Presione <ENTER/ON> o <SÍ> y la pantalla indicarán que el electrodo debe ser colocado en una solución fresca de CALIBRACIÓN:

IS CALIBRATION
SOLUTION READY

Quite el electrodo de la solución RINSE, limpie suavemente el cuerpo del electrodo con un papel adsorbente limpio e inserte la punta en la solución de CALIBRACIÓN. No limpie la punta del electrodo ya que puede ser dañado. Remueva el electrodo suavemente algunas veces y presione <ENTER/ON> o <SÍ>. Mantenga el electrodo en la solución de la calibración, la pantalla mostrará el siguiente mensaje:

MEASUREMENT IN
PROGRESS

Si el potencial de salida del electrodo así como la temperatura ambiente está dentro del rango aceptable, el procedimiento de calibración terminará mostrando en la pantalla lo siguiente:

CAL TEMP = XX°C
mv = xx

Los resultados de la calibración también serán enviados a la impresora, si ella está encendida.

CALIBRATION:hh: mm mm/dd/yyyy
VERSION: XXXX
METHOD: Method name
MV= XX.X TEMP= XX.X °C
A = XXX. X B = XX. XXX
OFFSET = X.X

Las funciones del programa entonces mostrarán los pasos siguientes de acuerdo al método elegido. Si la temperatura está fuera del rango aceptable un mensaje de error siguiente será exhibido:

Temperatura
Error XX.X °C

Un error de la temperatura indica que las condiciones ambiente no son convenientes para la medida. En este caso traslade el equipo a otro lugar donde la temperatura esté dentro del rango aceptable.

En el caso que el potencial de salida del electrodo esté fuera del rango aceptable, se mostrará el siguiente mensaje:

CAL ERROR
m V = xx

Presionando <ENTER/ON> el programa retornará al principio del proceso de análisis (**Analysis Loop**). (Vea “**CAL ERROR**” en la lista de mensajes de error de la sección de solución de problemas comunes)

Determinación del blanco

Todos los métodos pre-programados tienen la opción de utilizar los valores de blanco almacenados en el sistema. Si se ha considerado la toma de los valores en blanco para el método elegido, esta opción se presentará después de cada calibración. La pantalla mostrará:

USE BLANK
YES/NO

Si “**NO**” es seleccionado, el programa irá al paso siguiente en el método descrito más abajo en el acápite de Análisis. Si se elige el “**SÍ**”, se le presentará la siguiente opción:

USE PREVIOUS
BLANK YES/NO

Si se elige “**SÍ**”, tendrá la oportunidad de cambiar el valor del blanco almacenado en el sistema e incorporar un valor fijo:

USING BLANK OF
0.00

Este número, en ppm de cloruro, puede ser corregido o ser aceptado presionando <ENTER/ON>. Luego el programa continúa al paso siguiente de análisis.

Si la opción “**NO**” es elegida, la pantalla pedirá que inserte la solución en blanco:

PUT PROBE INTO
BLANK <ENTER>

La solución en blanco debe ser preparada como cualquier muestra; es decir, con todos los pasos y reactivos necesarios para una muestra, obviamente sin una

muestra real¹⁶. Luego permita que la solución del Blanco alcance la temperatura ambiente. Inserte el electrodo en la solución, remueva suavemente por algunos segundos y permita asentarse. Con el electrodo en la solución, presione <ENTER/ON> o <YES>. Después de completar la medida, el resultado en blanco será exhibido como:

BLANK READING

01.2

Después de presionar <ENTER/ON>, el programa continuará al paso siguiente del análisis. Un valor de Blanco medido no puede ser corregido, solamente los valores en blanco pre-almacenados en el sistema pueden ser corregidos.

Análisis

Prepare las muestras para el análisis según lo descrito en el acápite de "Preparación de la Muestra". Una vez que las muestras hayan sido preparadas, elija el método apropiado para el análisis y calibre el equipo. El sistema mostrará los datos o instrucciones acordes con el método elegido.

8. Cerciórese de que el método ha sido seleccionado adecuadamente, el instrumento está calibrado recientemente (incluyendo la determinación de la muestra en blanco) y que las soluciones para el análisis han alcanzado la temperatura ambiente (mantener al menos su climatización por un periodo de 5 minutos). La pantalla mostrará lo siguiente:

ANALYZE SAMPLE

Method name

Presione <ENTER/ON> para continuar con el siguiente paso:

SAMPLE ID (save)

simple id

Si la identificación de la muestra está correcta, proceda con el paso siguiente. Si no cambie la identificación según el procedimiento de Ingreso de Datos. La indicación "save" aparecerá en esta pantalla si la opción grabar puntos de referencias se ha seleccionado (véase a Administración de Datos)

1. Quite el electrodo de la solución RINSE y limpie el cuerpo cuidadosamente con un tejido fino. NOTA: NO LIMPIE EL EXTREMO DEL ELECTRODO YA QUE PUEDE SER DAÑADO. Coloque el electrodo en el frasco que se analizará y remuévalo suavemente por varios segundos.
2. Presione <ENTER/ON>. El L2000DX tomará una serie de lecturas. Una vez que las lecturas hayan convergido en un valor constante, el resultado será

¹⁶ Cuando prepare un blanco usando el solvente de extracción estándar para suelos (Standard Soil Extraction Solvent), NO añada agua del fondo del frasco

- mostrado junto con la información del método. Un beeper sonará indicando que el proceso de lectura ha terminado.
3. Para analizar muestras adicionales, presione <ENTER/ON>. El programa comprobará la temperatura ambiente y si todavía está dentro del rango permisible, el programa completará un nuevo ciclo comenzando nuevamente el análisis siguiente. Proceda tal como se describe en el numeral 1 para hacer la medida siguiente.
 4. Las muestras se pueden almacenar para realizar el análisis posteriormente, en este caso los frascos deben ser encapsulados herméticamente. Una vez realizadas los análisis, las muestras deben ser desechadas. No re-analice las muestras ya procesadas.
 5. Las pipetas y el aceite se deben disponer como residuos de PCB/Órgano-clorado. Las soluciones utilizadas durante el análisis se pueden disponer como basura acuosa ordinaria que contiene níquel.

Ingreso de Datos

Todo el ingreso de datos al analizador L2000DX por parte del usuario es a través del teclado del panel con 16 teclas. Hay 12 teclas alfanuméricas y 4 teclas de función. Un sonido se generará para indicar que la información al presionar la tecla ha sido registrada por el procesador. Las teclas se activarán solamente cuando se requiere ingreso de información y actuarán apropiadamente acorde con la pantalla activa.

Cuando se requiere ingreso de datos numéricos, sólo los números indicados en las teclas serán activados. Para cambiar un número ingresado, utilice las teclas de flecha para mover el cursor a la localización deseada y presionar la tecla con el número correcto. Para el ingreso de una secuencia de texto, como el nombre del método o una identificación de la muestra, la tecla **ALPHA** debe ser presionada al mismo tiempo que las teclas de caracteres alfanuméricos. Cuando se presiona una tecla alfanumérica, el número asociado a ella será mostrado primero. La tecla **ALPHA** será presionada una vez, dos veces, o tres veces de cambiar el carácter hasta alcanzar la letra deseada. La presión continuada de la tecla **ALPHA** mostrará cíclicamente los caracteres, letras y el número mostrados en la superficie de la tecla. Por ejemplo: Presionando la tecla <7> mostrará primero el número "7". El cursor se moverá al espacio siguiente y, si la tecla ALPHA es presionada enseguida el "7" se cambiará primero en una "S", luego una "T", seguidamente una "U". (Al presionar la tecla < **ALPHA** > se completará el ciclo otra vez con el carácter "7" de nuevo) Una vez que se muestre el carácter deseado, presionar una tecla alfanumérica para ingresar el siguiente carácter sobre el cursor.

Si se tiene muestras cuyas identificaciones incluya un número que se incremente automáticamente para cada muestra sucesivamente, la asignación de los números de las muestras es mucho más fácil. Esto se logra usando "comodines" en la identificación de la muestra. Hay dos caracteres "comodines" que pueden ser utilizados. Éstos son "*" y "?". Estos caracteres funcionan de igual manera como lo hacen en el sistema operativo DOS. Al ingresar "*" en una identificación de una muestra se agregará un número automáticamente a la serie de identificación de la

muestra El número comienza en 00001 y se incrementará hasta el 99999. El signo “?” tiene la misma función que “*” solamente que el número añadido tendrá solamente un número de dígitos igual al número de signos de interrogación digitados. NOTA: Corregir un número de identificación de la muestra generado con un “comodín” congelará el número en el valor actual y eliminará la función del comodín.

Teclas especiales

Las teclas <NO y YES> funcionan ya sea como respuesta yes/no o como teclas de flecha para mover el cursor a través de cadena de caracteres de texto.

Las cuatro teclas de funciones especiales, **ALPHA**, **OPTION**, **BACK/OFF** y **ENTER/ON** se utilizan directamente para operar el programa. La tecla **ALPHA** se utiliza para ingresar una secuencia de texto. La tecla **OPTION**, de la primera o segunda pantalla, transferirá la operación del programa al menú de las opciones (**OPTIONS Menu**). Desde la pantalla de Resultados (**RESULT Screen**) en la Secuencia de Análisis (**Analysis Loop**), la tecla de **OPTION** es utilizada para ver los parámetros seleccionados en el actual “Método” activo. La tecla **BACK/OFF** es utilizada para salir de cualquier sección del programa, retrocederá sucesivamente las pantallas hasta la primera pantalla (**First Screen**) y finalmente para apagar el sistema. La tecla **ENTER/ON** encenderá el equipo y será utilizada para seleccionar las funciones o instrucciones que requiere el programa.

Verificación del electrodo

El electrodo es el componente más importante del sistema. Por lo tanto, es importante que esté mantenido correctamente y el proceso de inicialización (initial setup) determinará que tan bien está funcionando. Antes de encender el analizador L2000DX, asegúrese que el electrodo está conectado correctamente con la parte posterior de la unidad. Compruebe el nivel de llenado en el electrodo y, en caso de necesidad, rellene el electrodo con la solución de relleno Orion proveído con cada lote de reactivos. Para llenar el electrodo, inserte la extremidad del dispensador de la botella de la solución llenando el electrodo por el agujero lateral. Presione lentamente transfiriendo la solución en el cuerpo del electrodo hasta que alcanza el nivel del agujero de llenado.

Una vez que se haya llenado el electrodo, compruebe el potencial de salida del electrodo yendo al proceso de “**Diagnostics**” del menú de opciones (**OPTIONS Menu**). Enjuague y rellene el frasco RINSE con una solución fresca removiendo suavemente el electrodo en la solución por algunos segundos. Permitir que el electrodo se siente en la solución RINSE, verifique que la lectura del potencia milivoltios es mayor de 140 mV. Si la salida no alcanza al menos 140 mV dentro de un minuto, rellene el frasco RINSE con una solución fresca y vuelva a verificar el potencial de salida. Si esto no mejora el valor, rellene el electrodo con una solución fresca relleno.

7.10 Anexo N° 10: Tecnologías de eliminación de PCB

Tecnología	Medio Tratado	Recomendado (si/no)	Comentarios
Proceso de Oxidación Avanzado	Agua	Sí (considerar caso por caso)	Proceso complejo, requiere materiales de construcción de alto desempeño y personal técnico altamente calificado.
Fotocatálisis mejorada con TiO ₂	Soil, water and aqueous solutions	Sí (aplicaciones limitadas)	Aplicable solo para operaciones en pequeña escala; no ideal para ampliación.
Reducción en fase gaseosa	Varios	Sí	Alto costo y complejo. Riesgos de seguridad asociados con reactivos tales como hidrógeno.
Reducción de sodio	Aceites	Sí Recomendado para Perú	Bien desarrollado; puede tratar aceites de transformadores. Experiencias previas en Perú el 2005 con la compañía Kioshi y EDELNOR SA, Actualmente se tiene a dicha compañía operando en el Perú, y la empresa Tecsur, esta desarrollando un declorinador.
Descomposición Catalizada por Base	Varios	Sí	Alto costo y complejo.
Tecnología Sonoprocess TM	Varios	Sí (considerar caso por caso)	Tecnología es móvil y escalamiento es posible.
Incineradores fijos a gran escala	Varios	Sí (recomendable solamente para casos de exportación)	No se recomienda construcción de incinerador. Se recomienda usar una instalación existente con una apropiada depuración de gas y tratamiento de subproductos.
Incineradores móvil	Varios	Sí (aplicaciones limitadas)	Requiere grandes cantidades de agua, químicos para el depurador, suministro confiable de electricidad y personal altamente entrenado.
Incineración en horno de cemento	Varios	No	Solamente se deberían considerar las plantas más modernas con instalaciones de tecnología de punta.
Proceso PACT	Varios	Sí (aplicaciones limitadas)	Aplicaciones limitadas. Requiere suministro eléctrico estable y suministro de químicos a granel (gas argón, oxígeno y soda cáustica). No apropiado para áreas Industriales remotas. (CONAMA, 2009)
Sistema Convertidor Plasma	Varios	Sí (aplicaciones limitadas)	Aplicaciones limitadas. Requiere suministro eléctrico estable y suministro de químicos a granel (gas argón, oxígeno y soda cáustica). No apropiado para áreas Industriales remotas.
PLASCON®	Varios	Sí	No es móvil. Requiere suministro eléctrico estable y suministro de químicos a

Tecnología	Medio Tratado	Recomendado (si/no)	Comentarios
			granel (gas argón, oxígeno y soda cáustica).
Vitrificación in-situ	Suelo	Sí (considerar caso por caso)	Solamente recomendado en sitios con alta toxicidad, no para tratamiento de desecho de PCB general.
Almacenamiento, largo plazo o permanente	Sólidos	Sí	Puede ser aplicable en algunos casos, para desechos sólidos con bajas concentraciones de PCB.

(Proyecto CRBAS - FMAM/PNUMA "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano", 2011) (Proyecto CRBAS - FMAM/PNUMA "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano", 2011)



8 Definiciones

Aprobado por NU	Equipo que cumple con los procedimientos de prueba específicos de Naciones Unidas
Askarel	Marca comercial de líquido refrigerante con PCB (USA, Monsanto)
Banco de Condensadores (General)	Prácticamente hay tres maneras diferentes de corrección de factores de potencia (FP): Condensadores para corrección "individual" de FP; el condensador se conecta directamente a los terminales de un equipo (motor, máquina soldadora, etc.) y produce los "kilovars retrasados"
Banco de condensadores (BT)	Condensadores para corrección "grupal" de FP; el/los condensador/es se conecta/n a la barra conductora de BT de una estación transformadora, que alimenta una serie de consumidores con motores, soldadoras, etc.
Banco de condensadores (MT)	Condensadores para corrección "central" de FP; Instalación de varios capacitores conectados a las barras colectoras de Media o Alta Tensión de una subestación en la que muchos instrumentos eléctricos individuales (motores, etc.) de diversos tamaños operan en diferentes momentos y períodos.
Condensador	Equipo o unidad que proveerá los kilovars (kVAr) retrasados para la corrección del factor de potencia de un sistema eléctrico; algunos capacitores fueron fabricados con PCB como líquido refrigerante
Clophen	Marca comercial de líquido refrigerante con PCB producido por Bayer, Alemania
Clor-N-Oil®	Kit de análisis para detección de PCB en aceites dieléctricos desarrollado por la compañía Dexsil ® de USA
Congénere	Según la cantidad y la posición de los átomos de cloro en la molécula de bifenilo, es posible en teoría obtener 209 isómeros y bifenilos homólogos del cloro. Un único complejo de este grupo se denomina congénere de PCB.
Contaminación Cruzada	Proceso de contaminación de sustancias o elementos sin presencia de PCB por contacto con elementos que contienen PCB como uso de materiales, herramientas o mezclas durante sus actividades de operación y mantenimiento.
Fuente primaria	Un producto al que se agregó PCB voluntariamente para que influya en las características del producto (por ej. líquidos refrigerantes para transformadores como Sovol, Sovtol, Askarel, Pyralene, Clophen, etc.). Dichos productos emiten PCB continuamente
Fuente secundaria	Un producto que originalmente estaba libre de PCB, pero luego fue contaminado con PCB emitido de fuentes primarias (por ej. por la emisión de fuentes primarias o por el uso de bombas o mangueras contaminadas, etc.) Dichos productos también emiten PCB
Persistente	Muy levemente degradable en el ambiente
Sistemas abiertos	Aplicaciones en las que el PCB se consume durante su uso o no se elimina en forma adecuada después de su uso, o después del uso de los productos que contienen PCB; los sistemas abiertos emiten PCB directamente al medio ambiente (por ejemplo, plastificantes en el PVC, neoprene y otros cauchos que contengan cloruro.)
Sistemas cerrados	Condensadores y transformadores, donde los PCB están en contenedores completamente cerrados; los PCB rara vez emana emisiones desde sistemas cerrados (cuando están en buenas condiciones)
Transformador	Equipo utilizado para aumentar o reducir la tensión. Los transformadores que contienen PCB normalmente se instalan en plantas o edificios en los que se distribuye electricidad.
Existencias con PCB	Equipos, residuos, suelos o construcciones que contienen PCB en cualquier concentración por encima de 2 mg/kg.

